

**Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»**

**Інститут електроенергетики  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
кваліфікаційної роботи ступеню магістра**

студента Васильєва Дмитра Геннадійовича

академічної групи 125м-17-2

спеціальності 125 Кібербезпека

спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Кібербезпека

на тему Ефективність застосування гнучких матеріалів для екранування  
побічних електромагнітних випромінювань технічних засобів обробки  
інформації

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	д.ф-м.н., проф. Кагадій Т.С.			
розділів:				
спеціальний	ст. викл. Войцех С.І.			
економічний	к.е.н., доц. Пілова Д.П.			

Рецензент				
-----------	--	--	--	--

Нормоконтролер	ст. викл. Мєшков В.І.			
----------------	-----------------------	--	--	--

**Дніпро  
2018**

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
безпеки інформації та телекомунікацій  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу ступеня магістра**

студенту Васильєву Д.Г. академічної групи 125м-17-2  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 125 Кібербезпека  
спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Кібербезпека

на тему Ефективність застосування гнучких матеріалів для екранування  
побічних електромагнітних випромінювань технічних засобів обробки  
інформації

**1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ**

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 29.11.2018 № 2025-л

**2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ**

Об'єкт досліджень процес екранування електромагнітних випромінювань

Предмет досліджень ефективність екранування побічних  
електромагнітних випромінювань гнучкими екрануючими матеріалами

Мета підвищення ефективності екранування побічних електромагнітних  
випромінювань технічних засобів обробки інформації

Вихідні дані для проведення роботи матеріали науково-дослідної та  
переддипломної практик

**3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ**

Наукова новизна розробка рекомендацій щодо підвищення  
ефективності екранування гнучкими матеріалами

**Практична цінність** оцінка ефективності екранування побічних електромагнітних випромінювань гнучкими матеріалами

#### **4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

Результати проведених досліджень повинні відповідати поставленим задачам дипломної роботи. При виконанні дипломної роботи необхідно дотримуватись вимог нормативних документів у сфері технічного захисту інформації

#### **5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ**

<b>Найменування етапів робіт</b>	<b>Строки виконання робіт (початок-кінець)</b>
Огляд джерел за темою та напрям досліджень	03.09.18-06.10.18
Методи досліджень	07.10.18-31.10.18
Результати досліджень	01.11.18-24.11.18
Виконання економічного розділу	25.11.18-04.12.18
Оформлення пояснювальної записки	05.12.18-10.12.18

#### **6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ**

**Економічний ефект** доцільність витрат на використання сітчастих екранів для екранування побічних електромагнітних випромінювань

**Соціальний ефект** підвищення рівня захищеності інформації з обмеженим доступом від витоку каналами побічних електромагнітних випромінювань

#### **7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ**

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Кагадій Т.С.  
(прізвище, ініціали)

**Дата видачі: 03.09.18 р.**

**Дата подання до експертної комісії: 14.12.18 р.**

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_  
(підпис студента)

Васильєв Д.Г.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 94 с., 20 рис., 23 табл., 5 додатків, 47 джерел.

Об'єкт дослідження: процес екранування електромагнітних випромінювань.

Мета роботи: підвищення ефективності екранування побічних електромагнітних випромінювань технічних засобів обробки інформації.

Методи дослідження: методи індукції, аналізу і синтезу (при розкритті теоретичних положень); метод обробки інформації (при розрахунках параметрів).

У спеціальній частині проведено порівняльний аналіз властивостей різних типів гнучких екрануючих матеріалів, їх переваг та недоліків. Основну увагу приділено розрахункам ефективності екранування радіонепроникних тканин і сітчастих екранів та ефективності їх використання. Розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності екранування сітчастими екранами.

В економічному розділі проведено розрахунок економічної ефективності використання сітчастих екранів.

Практичне значення роботи полягає у оцінці ефективності екранування побічних електромагнітних випромінювань гнучкими матеріалами.

Наукова новизна дослідження полягає у розробці рекомендацій по підвищенню ефективності екранування побічних електромагнітних випромінювань гнучкими матеріалами.

Напрямки подальших досліджень – удосконалення екрануючих властивостей електромагнітних екранів на основі радіонепроникних тканин та сітчастих матеріалів.

ПОБІЧНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ЕКРАНУВАННЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКРАНУВАННЯ, КОЕФІЦІЄНТ ЕКРАНУВАННЯ, ГНУЧКІ ЕКРАНУЮЧІ МАТЕРІАЛИ.

## РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 94 с., 20 рис., 23 табл., 5 приложений, 47 источников.

Объект исследования: процесс экранирования электромагнитных излучений.

Цель работы: повышение эффективности экранирования побочных электромагнитных излучений технических средств обработки информации.

Методы исследования: индукции, анализа и синтеза (при раскрытии теоретических положений), обработки информации (при расчетах параметров).

В специальной части проведен сравнительный анализ свойств различных типов гибких экранирующих материалов, их преимуществ и недостатков. Основное внимание уделено расчету эффективности экранирования радионепроницаемых тканей и сетчатых экранов, и эффективности их использования. Разработаны рекомендации по повышению эффективности экранирования сетчатыми экранами.

В экономическом разделе выполнен расчет экономической эффективности использования сетчатых экранов.

Практическое значение работы состоит в оценке эффективности экранирования побочных электромагнитных излучений гибкими материалами

Научная новизна исследования заключается в разработке рекомендаций по повышению эффективности экранирования побочных электромагнитных излучений гибкими материалами.

Направления дальнейших исследований – совершенствование экранирующих свойств электромагнитных экранов на основе радионепроницаемых тканей и сетчатых материалов.

ПОБОЧНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ, ЭКРАНИРОВАНИЕ  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАНИЯ, КОЭФФИЦИЕНТ ЭКРАНИРОВАНИЯ,  
 ГИБКИЕ ЭКРАНИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ.

## THE ABSTRACT

Explanatory note: 94 pages, 20 figures, 23 tables, 5 appendices, 47 sources.

Object of research: process of electromagnetic emanations shielding.

Purpose of degree work: increasing of shielding efficiency of technical means' electromagnetic emanations.

Research methods: induction, analysis, synthesis (for description of theoretical principles), information processing (parameters calculation).

In special part comparative analysis of properties, advantages and disadvantages of various types of flexible shielding materials was performed. Major attention was paid for wire-mesh screens and shielding fabrics shielding efficiency calculations and effectiveness of their use. Recommendations for increasing wire-mesh screens shielding efficiency were developed. Economical part contains calculations of economic efficiency of applying wire-mesh shields.

Practical meaning of work is assessment of flexible materials shielding efficiency of electromagnetic emanations.

The scientific novelty of the research is to find the ways of shielding efficiency improvement of wire-mesh screens.

Direction for further researches is to improve shielding properties of electromagnetic shields based on shielding fabrics and wire-mesh materials.

ADVERSE ELECTROMAGNETIC RADIATION, SHIELDING, SHIELDING EFFECTIVENESS, SHIELDING COEFFICIENT, FLEXIBLE SHIELDING MATERIALS.

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВЧ – високочастотний;

ДТЗС – допоміжні технічні засоби і системи;

ЕМВ – електромагнітні випромінювання;

ІЧ – інфрачервоний;

НКРМ – наноструктуровані композиційні радіопоглинаючі матеріали;

ПЕМВ – побічні електромагнітні випромінювання;

ТЗПІ – технічні засоби передачі, обробки, зберігання, відображення інформації.

## ЗМІСТ

с.

ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1. ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ ВІД ВИТОКУ КАНАЛАМИ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ШЛЯХОМ ЕКРАНУВАННЯ.....	11
1.1 Природа виникнення побічних електромагнітних випромінювань.....	11
1.2 Класифікація технічних каналів витоку інформації, що обробляється ТЗПІ .....	12
1.2.1 Електромагнітні канали витоку інформації.....	12
1.2.2 Електричні канали витоку інформації .....	13
1.3 Магнітний та електричний диполь.....	14
1.4 Способи захисту від ПЕМВ .....	17
1.4.1 Електростатичне екранування .....	19
1.4.2 Магнітостатичне екранування .....	22
1.4.3 Електромагнітне екранування.....	24
1.5 Екрануючі матеріали та покриття .....	27
1.6 Поняття ближньої та дальньої зони .....	30
1.7 Фізичні принципи екранування .....	34
1.8 Вплив апертур на ефективність екранування.....	40
1.9 Технічні засобів обробки інформації .....	43
1.10 Постановка задачі дослідження .....	45
1.11 Висновок .....	45
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ЕКРАНУВАННЯ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ГНУЧКИМИ МАТЕРІАЛАМИ ТА КОНСТРУКЦІЯМИ.....	47
2.1 Аналіз сучасних матеріалів для екранування .....	47
2.1.1 Радіопоглинаючі матеріали.....	48
2.1.2 Електропровідні полімербетони .....	51
2.1.3 Наноструктуровані матеріали .....	52



2.1.4 Металеві сітки.....	54
2.1.5 Фольгові екрани .....	56
2.1.6 Радіонепроникні тканини .....	57
2.2 Розрахунок ефективності екранування сітчастих екранів .....	60
2.2.1 Розрахунок коефіцієнту ефективності екранування апертур .....	66
2.2.2 Розрахунок коефіцієнту ефективності екранування фольги .....	69
2.2.3 Розрахунок коефіцієнту ефективності екранування обраних зразків сіток .....	71
2.2.4 Порівняльна оцінка екрануючих характеристик розглянутих сітчастих екранів .....	72
2.3 Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності екранування побічних електромагнітних випромінювань .....	74
2.4 Висновок .....	75
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	77
3.1 Розрахунок капітальних витрат .....	77
3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат .....	78
3.3 Оцінка величини збитку .....	79
3.4 Загальний ефект від впровадження системи інформаційної безпеки.....	79
3.5 Визначення та аналіз показників економічної ефективності системи інформаційної безпеки.....	79
3.6 Висновок .....	80
ВИСНОВКИ.....	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	83
ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи.....	88
ДОДАТОК Б. Розрахунок ефективності екранування для радіонепроникних тканин .....	89
ДОДАТОК В. Перелік файлів на електронному носії.....	91
ДОДАТОК Г. Відгук керівника економічного розділу .....	92
ДОДАТОК Д. Відгук керівника дипломної роботи .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## ВСТУП

Інформаційні технології вже стали невід'ємною частиною повсякденного життя. Вони проникають у кожную сферу діяльності людини і цей процес росте, і очевидно, що він буде рости і надалі. Переважна частина інформації, у тому числі і з обмеженим доступом, обробляється різноманітними технічними засобами і системами та зберігається в базах даних серверів або в хмарних сховищах. Це веде до того, що роль кібербезпеки в повсякденній діяльності людини також стрімко росте, а з цим піднімаються вимоги, які постають перед нею.

Але на фоні складної ситуації, що зараз має місце у кіберпросторі, не слід забувати, що за кожним сервером, за кожним бітом інформації, який стає частиною глобальної інформаційної системи, стоять технічні засоби обробки інформації, у яких наявний цілий спектр інформаційних вразливостей. Це означає, що окрім впровадження та удосконалення методів захисту у кіберпросторі, нам необхідно приділяти належну увагу технічним засобам обробки інформації, адже вони є невід'ємною складовою циркулювання інформації.

Одним з суттєвих недоліків будь-якого технічного засобу обробки інформації є факт створення ними побічних електромагнітних випромінювань, які можуть бути змінені за законом зміни корисного інформаційного сигналу. Дальність розповсюдження таких випромінювань вимірюється сотнями метрів [1], де вони можуть бути перехоплені супротивником.

Одним з ефективних засобів захисту від таких випромінювань є екранування. Воно дозволяє локалізувати власні випромінювання пристрою та добитися істотного зниження рівня фонових сигналів, тим самим виключивши досить небезпечний технічний канал витоку інформації. Крім

цього, екранування дозволяє захистити внутрішні елементи пристрою від впливу зовнішніх паразитних електромагнітних полів, завад та наводок, що можуть погіршувати роботу апаратури, тобто сприяє вирішенню питання електромагнітної сумісності.

На сьогоднішній день, актуальними є питання підвищення ефективності екранування, розробка та вдосконалення спеціальних екрануючих конструкцій, які допоможуть вирішити питання екранування в тих випадках, коли традиційні конструкції та підходи не можуть бути застосовані. До таких конструкцій можна віднести екрани з гнучких екрануючих матеріалів. Але у більшості випадків, ефективність таких конструкцій поступається ефективності екранів з суцільних металевих листів.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності екранування побічного електромагнітного випромінювання технічних засобів обробки інформації з обмеженим доступом.

Для досягнення мети в дипломній роботі поставлені такі завдання:

1. Провести аналіз процесу виникнення побічних електромагнітних випромінювань;
2. Провести аналіз способів захисту інформації з обмеженим доступом від витоку каналами побічних електромагнітних випромінювань;
3. Провести аналіз принципів екранування побічних електромагнітних випромінювань;
4. Провести аналіз наявних гнучких екрануючих матеріалів;
5. Дати порівняльну оцінку екрануючих властивостей декількох екранів з металевих сіток;
6. Розробити рекомендації по підвищенню ефективності екранування побічного електромагнітного випромінювання сітчастими екранами.

Практична цінність роботи полягає у оцінці ефективності екранування побічних електромагнітних випромінювань гнучкими матеріалами.

## РОЗДІЛ 1. ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ ВІД ВИТОКУ КАНАЛАМИ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ШЛЯХОМ ЕКРАНУВАННЯ

### 1.1 Природа виникнення побічних електромагнітних випромінювань

Одним з найбільш небезпечних факторів, що можуть призвести до витоку важливої інформації на об'єкті інформаційної діяльності, є побічні електромагнітні випромінювання (ПЕМВ), які виникають внаслідок роботи технічних засобів обробки інформації.

Функціонування будь-якого технічного засобу обробки інформації пов'язано з протіканням по його струмоведучих елементах електричних струмів різних частот і утворенням різниці потенціалів між різними точками його електричної схеми, які породжують магнітні та електричні поля. Саме ці поля і є побічним електромагнітним випромінюванням.

Сформоване побічне електромагнітне поле може бути прийняте на великій відстані за допомогою антени, в якості якої може виступати будь-який провідник. Внаслідок взаємодії електромагнітного поля з провідником, в останньому буде генеруватися струм, який по своїм характеристикам схожий на той, що протікав у джерелі виникнення електромагнітного поля [1].

Це означає, що будь-який провідник або технічний засіб, по якому протікає перемінний струм, може вважатися передавальною антеною. Тобто такий засіб генерує електромагнітне поле, яке потенційно може бути промодульоване інформаційним сигналом, який обробляє прилад і випромінювати його в навколишнє середовище.

Такі побічні електромагнітні випромінювання є причиною виникнення електромагнітних каналів витоку інформації, яка обробляється в ТЗПІ. Тому зниження рівня побічних електромагнітних випромінювань є важливою задачею.

## 1.2 Класифікація технічних каналів витоку інформації, що обробляється ТЗПІ

В залежності від фізичної природи утворення інформаційних сигналів, а також середовища їх розповсюдження і засобів перехвату, технічні канали витоку інформації, що обробляється ТЗПІ, можна поділити на електромагнітні, електричні, параметричні та вібраційні [2].

Зупинимось детальніше на перших двох типах.

### 1.2.1 Електромагнітні канали витоку інформації

До електромагнітних каналів витоку інформації відносяться [2]:

- перехоплення побічних електромагнітних випромінювань елементів ТЗПІ;
- перехоплення ПЕМВ на частотах роботи високочастотних (ВЧ) генераторів в ТЗПІ і ДТЗС;
- перехоплення ПЕМВ на частотах самозбудження підсилювачів низької частоти (ПНЧ) ТЗПІ.

Електромагнітні випромінювання елементів ТЗПІ утворюються внаслідок того, що в ТЗПІ носієм інформації є електричний струм, параметри якого змінюються по закону зміни інформаційного сигналу. При проходженні електричного струму по струмопровідним елементам ТЗПІ, навколо них виникає електричне та магнітне поле. Через це елементи ТЗПІ можна розглядати як випромінювачі електромагнітного поля, модульованого інформаційним сигналом.

Наступний канал утворюється за рахунок того, що до складу ТЗПІ та ДТЗС можуть входити різні високочастотні генератори. В результаті зовнішнього впливу інформаційного сигналу (наприклад, електромагнітних коливань) на елементах ВЧ-генераторів наводяться електричні сигнали. Приймачем магнітного поля можуть бути котушки індуктивності

коливальних контурів, дроселі в ланцюгах електроживлення та ін.. Приймачем електричного поля є провідники високочастотних ланцюгів та інші елементи. Наведені електричні сигнали можуть спричинити модуляцію власних ВЧ-коливань генераторів. Ці промодульовані коливання випромінюються в оточуюче середовище.

Останній канал утворюється внаслідок самозбудження підсилювача низьких частот ТЗП, яке може виникати внаслідок випадкових перетворень негативних зворотних зв'язків (індуктивних або ємнісних) в паразитні позитивні, що призводить до перевodu підсилювача з режиму підсилення в режим автогенерації сигналів. Частота самозбудження лежить в межах робочих частот нелінійних елементів підсилювача НЧ. Сигнал на частотах самозбудження, як правило, виявляється промодульованим інформаційним сигналом [3].

### 1.2.2 Електричні канали витоку інформації

До електричних каналів витоку інформації відносяться:

- знімання наводок електромагнітного випромінювання ТЗП зі з'єднувальних ліній ДТЗС та сторонніх провідників;
- знімання інформаційних сигналів з ліній електроживлення ТЗП;
- знімання інформаційних сигналів з ланцюгів заземлення ТЗП та ДТЗС;
- знімання інформації шляхом установки в ТЗП електронних пристроїв перехоплення інформації [2].

Наводки електромагнітних випромінювань ТЗП виникають при випромінюванні елементами ТЗП інформаційних сигналів, а також при наявності гальванічного зв'язку з'єднувальних ліній ТЗП та сторонніх провідників чи ліній ДТЗС. Рівень сигналів, що наводяться, в значній мірі залежить від потужності сигналів, що випромінюються, відстані до

провідників, а також довжини спільного пробігу з'єднувальних ліній ТЗП та сторонніх провідників [3].

### 1.3 Магнітний та електричний диполь

Диполь – ідеалізована система, що служить для наближеного опису поля, яке створюється більш складними системами зарядів, а також для наближеного опису дії зовнішнього поля на такі системи.

Електричний диполь – це система, що складається з позитивного та негативного заряду однакової величини, що знаходяться на дистанції  $\vec{l}$  один від одного (рис. 1.1).

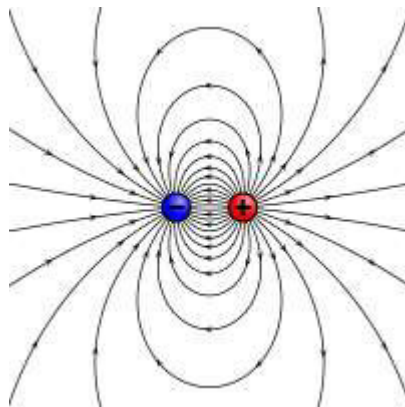


Рисунок 1.1 – Силкові лінії електричного диполя

Для такого диполя ми можемо визначити вектор, який називається моментом електричного диполя. Величина цього вектору  $\vec{d}$  розраховується як співвідношення величини заряду  $q$ , помноженої на дистанцію  $\vec{l}$  між ними (1.1):

$$\vec{d} = q\vec{l}, \quad (1.1)$$

Даний вектор проводиться від негативного до позитивного заряду.

Дипольний момент являється основною характеристикою електричного диполя та є дуже корисною концепцією, коли ефект розділення маленьких зарядів добре помітний, але дистанція безпосередньо між зарядами занадто мала, щоб бути вимірюною.

Дія зовнішнього електричного поля на диполь пропорційна величині його дипольного моменту. Однорідне поле створює обертаючий момент  $M$  (1.2):

$$M = \vec{d}E \sin \alpha \quad (1.2)$$

де  $\alpha$  – кут між вектором напруженості зовнішнього електричного поля  $E$  і дипольним моментом  $\vec{d}$ . Даний обертаючий момент прагне повернути диполь так, щоб його дипольний момент був направлений вздовж поля (рис. 1.2).

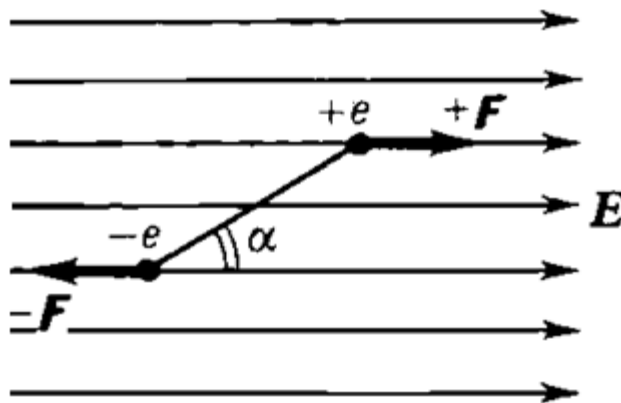


Рисунок 1.2 – Дія однорідного електричного поля на диполь

В неоднорідному електричному полі, на диполь, окрім обертаючого моменту, також діє сила, що намагається втягнути диполь в область більш сильного поля (рис. 1.3).



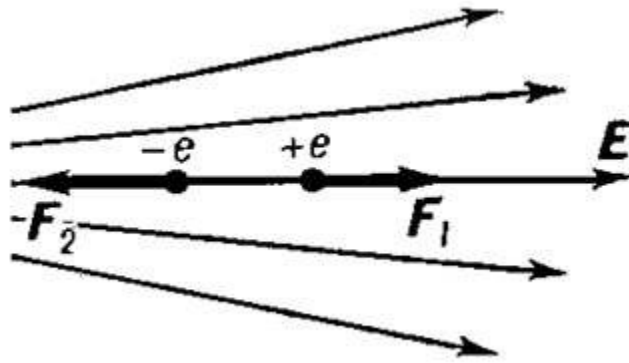


Рисунок 1.3 – Диполь в неоднорідному електричному полі

Напруженість електричного поля, що створюється диполем, починає спадати з відстанню  $R$  як  $R^{-3}$ , тобто швидше, ніж у точкового заряду ( $E \sim R^{-2}$ ), і ефекти диполя досить швидко стають незначними по мірі збільшення відстані [4].

Магнітний диполь – це межа замкнутого кола електричного струму або пари полюсів, коли розміри джерела зменшені до нуля, зберігаючи магнітний момент постійним. Магнітне поле навколо будь-якого магнітного джерела дуже схоже на поле магнітного диполя, по мірі збільшення відстані від джерела.

В свою чергу, магнітний момент магніту – це величина, яка визначає силу, з якою магніт може взаємодіяти на електричний струм та крутний момент, який магнітне поле буде чинити на нього [5].

У випадку плоского контуру з електричним струмом, магнітний момент розраховується як: (1.3)

$$\vec{d}_m = I \cdot S \cdot \vec{n}, \quad (1.3)$$

де  $\vec{d}_m$  – магнітний момент диполя,  $A \cdot m^2$ ;

$I$  – струм, що протікає в рамці,  $A$ ;

$S$  – площа рамки,  $m^2$ ;

$\vec{n}$  – одиничний вектор нормалі до площини контуру [4].

## 1.4 Способи захисту від ПЕМВ

Захист інформації, що обробляється технічними засобами, здійснюється із застосуванням пасивних і активних методів і засобів.

Пасивні методи захисту інформації спрямовані на:

- послаблення побічних електромагнітних випромінювань ТЗПІ на кордоні контрольованої зони до величин, що забезпечують неможливість їхнього виділення засобами розвідки на фоні природних шумів;
- послаблення наведень побічних електромагнітних випромінювань (інформаційних сигналів) ТЗПІ в сторонніх провідниках і сполучних лініях ДТЗС, що виходять за межі контрольованої зони, до величин, унеможлиблює їх виділення засобом розвідки на фоні природних шумів;
- виключення чи послаблення просочування інформаційних сигналів ТЗПІ в колі електроживлення, що виходять за межі контрольованої зони, до величин, що забезпечують неможливість їхнього виділення засобами розвідки на фоні природних шумів.

Активні методи захисту інформації спрямовані на:

- послаблення побічних електромагнітних випромінювань (інформаційних сигналів) ТЗПІ на кордоні контрольованої зони до величин, що забезпечують неможливість їхнього виділення технічними засобами розвідки на фоні природних шумів;
- створення маскувальних просторових електромагнітних завад з метою зменшення відношення «сигнал / шум» на кордоні контрольованої до величин, що забезпечують неможливість виділення технічними засобами розвідки інформаційного сигналу ТЗПІ;
- створення маскувальних електромагнітних перешкод в сторонніх провідниках і сполучних лініях ДТЗС з метою зменшення відносини «сигнал/шум» на кордоні контрольованої зони до величин, що забезпечують неможливість виділення технічними засобами розвідки інформаційного

сигналу ТЗП.

Послаблення побічних електромагнітних випромінювань ТЗП і їх наведень в сторонніх провідниках здійснюється шляхом екранування і заземлення ТЗП і їх сполучних ліній.

Виключення або послаблення просочування інформаційних сигналів ТЗП в коло електроживлення досягається шляхом фільтрації інформаційних сигналів.

Для створення маскувальних електромагнітних перешкод використовуються системи просторового і лінійного зашумлення [2].

Одним з найефективніших пасивних методів захисту від ПЕМВ є екранування.

Під екрануванням розуміється розміщення елементів інформаційної системи, що створюють електричні, магнітні та електромагнітні поля, в просторово замкнутих конструкціях. Способи екранування залежать від особливостей полів, що створюються елементами інформаційної системи при протіканні в них електричного струму.

Характеристики полів залежать від параметрів електричних сигналів в інформаційній системі. Так, при малих значеннях струму і високій напрузі в створюваному полі переважає електрична складова. Таке поле називається електричним (електростатичним). Якщо в провіднику протікають великі значення струму при малих значеннях напруги, то в полі переважає магнітна складова, а поле називається магнітним. Поля, у яких електрична і магнітна складові еквівалентні, називаються електромагнітними [6].

Залежно від типу створюваного електромагнітного поля розрізняють наступні види екранування:

- екранування електричного поля;
- екранування магнітного поля;
- екранування електромагнітного поля.

### 1.4.1 Електростатичне екранування

Якщо в електричне поле внести провідник, то в результаті поляризації електрони в ньому почнуть переміщуватися в сторону позитивно зарядженої пластини і на частинах провідника, оберненої до цієї пластини, виникає негативний потенціал, а протилежна частина поверхні провідника виявиться зарядженою позитивно. Позитивна та негативна частини провідника створюють власне вторинне поле, яке дорівнює зовнішньому і має протилежний йому напрямок. Отже вторинне поле, яке створюється провідником та вторинне поле – компенсують одне одного всередині тіла провідника. Цим і пояснюється розподілення зарядів тільки на поверхні провідника. Також, всередині провідника поле відсутнє.

Так виглядає один з прикладів явища електростатичної індукції. Цим явищем користуються для здійснення електростатичного екранування (рис. 1.4).

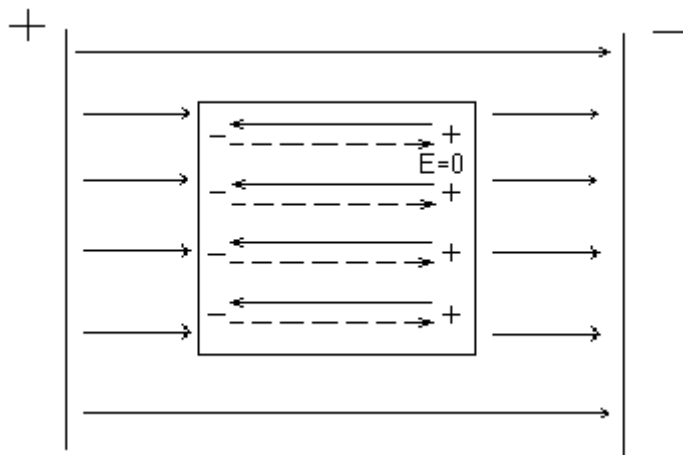


Рисунок 1.4 – Електричне поле всередині провідника

І дійсно, внаслідок того, що всередині металевого тіла поле дорівнює нулю, буде достатньо помістити в його внутрішній порожнині пристрій, схильний до впливу електростатичного поля і тим самим виключити вплив поля на цей пристрій. В цьому випадку ефективність екранування виявляється незалежною ні від форми екрану, ні від товщини його стінок, ні

від металу, з якого він виготовлений.

Помістимо заряд  $+q$  в центрі сферичної металевої оболонки (рис. 1.5):

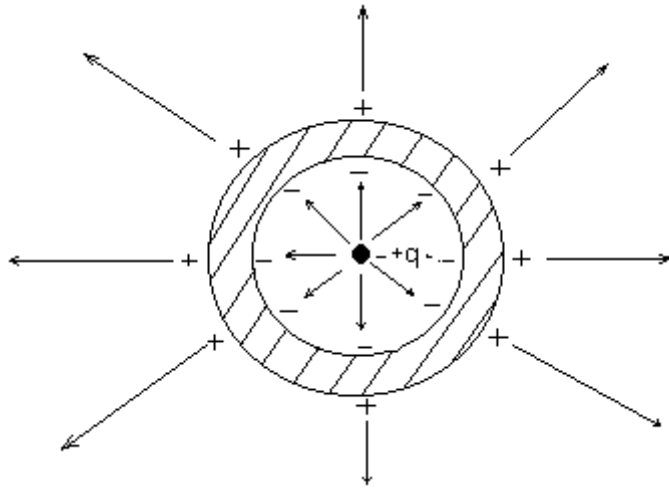


Рисунок 1.5 – Заряд в центрі металічної оболонки

На внутрішній поверхні оболонки виникають заряди  $-q$ , а на зовнішній –  $+q$ , і екран виявляється неефективним. Але, якщо підключити металеву оболонку до землі (до корпусу) (рис. 1.6), то це призведе до того, що заряди, що знаходяться на зовнішній поверхні оболонки, будуть стікати на землю (корпус), тому що він має дуже велику ємність, а поза оболонкою поле виявиться рівним нулю.

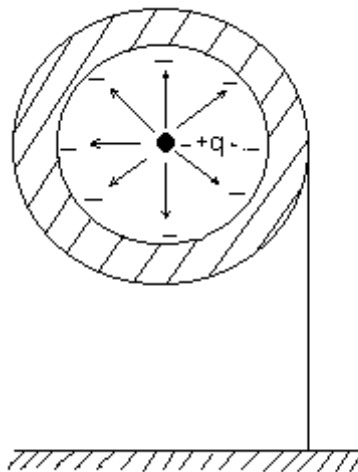


Рисунок 1.6 – Заземлена металічна оболонка

Таким чином, електростатичне екранування по суті зводиться до замикання електростатичного поля на поверхню металевого екрана і

відведення електричних зарядів на землю.

Як видно, заземлення електростатичного екрану є необхідним елементом при реалізації електростатичного екранування. Без заземлення електростатичний екран майже повністю втрачає свою ефективність [7].

Звертає на себе увагу те, що при наявності зарядів як на внутрішній, так і зовнішній поверхнях екрану поле всередині екрану визначається тільки внутрішніми зарядами і абсолютно не залежить від зовнішніх. Але зворотне твердження було б не правильним, бо заряди, що знаходяться всередині екрану, створюють поле і поза екраном. Фізично цей вплив обумовлений появою індукованих зарядів на зовнішній поверхні, вплив яких може бути нейтралізовано відведенням їх в землю. Отже, за допомогою заземлення електростатичного екрана можна домогтися взаємного екранування як внутрішнього простору екрану від зовнішнього поля, так і зовнішнього простору від внутрішнього поля [8].

Використання металічних екранів дозволяє майже повністю нейтралізувати вплив електростатичного поля. Ефективність заземленого електростатичного екрана пропорційна приросту сумарної площі маси його заземлення. Контур заземлення повинен мати опір не більше 4 Ом [9].

Електричне поле може екрануватися і за допомогою діелектричних екранів, які мають високу відносну діелектричну проникність  $\epsilon$ . При цьому поле буде послаблено в  $\epsilon$  раз. Це пояснюється тим, що з поля вільних зарядів віднімається поле поляризаційно-зв'язаних зарядів.

Під впливом сил електростатичного поля діелектрик поляризується: нейтральні в електричному відношенні молекули діелектрика перетворюються в електричні диполі, а диполі, вже наявні в діелектрику, повертаються осями в напрямку дії сил поля, утворюючи на бічних поверхнях електричні заряди. При цьому на одній стороні діелектрика утворюється поверхневий негативний заряд, а на другій – позитивний.

Ці пов'язані електричні заряди діелектрика створюють в ньому власне поле, спрямоване на зустріч зовнішньому, що призводить до зменшення

результуючого електростатичного поля в діелектрику.

Чим більше діелектрична проникність діелектрика, тим більше величина пов'язаних електричних зарядів і тим слабше в ньому результуюче електростатичне поле. Отже, при використанні твердих діелектриків, цей діелектрик повинен щільно прилягати до пристрою, що екранується [10].

Основні вимоги, які пред'являються до електричних екранів, можна сформулювати наступним чином:

- конструкція екрана повинна вибиратися такою, щоб силові лінії електричного поля замикалися на стінки екрану, не виходячи за його межі;
- в області низьких частот (при глибині проникнення ( $\delta$ ) більше товщини ( $d$ ), тобто при  $\delta > d$ ) ефективність електростатичного екранування практично визначається якістю електричного контакту металевого екрана з корпусом пристрою і майже не залежить від матеріалу екрану і його товщини;
- в області високих частот (при  $d < \delta$ ) ефективність екрану, що працює в електромагнітному режимі, визначається його товщиною, провідністю і магнітною проникністю [11].

#### 1.4.2 Магнітостатичне екранування

Магнітостатичне екранування застосовують для захисту від джерела постійних магнітних полів або полів, що повільно змінюються. Магнітне поле, що створюється джерелом, наводить в рецепторі (контурі, утвореному одним або декількома провідниками) індуковану напругу перешкоди. Для повного усунення або зменшення напруги перешкоди, що наводяться в контурі, необхідно:

- помістити контур в екран;
- орієнтувати його так, щоб магнітні силові лінії поля не перетинали контур, а проходили вздовж нього;
- зменшити площу контуру.

Магнітні поля з низьким характеристичним опором легко проникають через межу «повітря-екран», але піддаються впливу відбивання на межі «екран-повітря». При цьому частина хвиль, яка не поглинається в екрані після багаторазових внутрішніх відбивань – розсіюється. Тому екрани, що захищають від магнітних полів, повинні мати товщину  $t > \delta$ , високу магнітну проникність  $\mu$  та низький питомий опір  $\rho$ .

Магнітні екрани зазвичай виконують з феромагнітних (сталь, пермалой) металів.

Механізм роботи феромагнітного екрану полягає в шунтуванні силових ліній магнітного поля (рис. 1.7):



Рисунок 1.7 – Екранування магнітного поля феромагнітним екраном

При великій напруженості магнітного поля матеріал феромагнітного екрану не повинен «входити в насичення», так як при цьому магнітна проникність, а отже, і ефективність екранування різко знижуються [12].

Основні вимоги, що пред'являються до магнітостатичних екранів:

- магнітна проникність  $\mu$  матеріалу екрану повинна бути якомога вищою;
- збільшення товщини стінок екрану призводить до підвищення ефективності екранування, однак при цьому слід брати до уваги можливі конструктивні обмеження по масі і габаритам екрана;



- стики, розрізи і шви в екрані повинні розміщуватися паралельно лініям магнітної індукції магнітного поля. Їх кількість має бути мінімальною;
- заземлення екрана не впливає на ефективність магнітостатичного екранування.

Ефективність магнітостатичного екранування підвищується при застосуванні багат шарових екранів [10].

#### 1.4.3 Електромагнітне екранування

З підвищенням частоти сигналу застосовується виключно електромагнітне екранування. Цей вид є найбільш загальним і часто вживаним, так як в більшості випадків потрібно мати справу або зі змінним або флюктуючими полями і рідше – дійсно зі статичними полями.

Принцип дії електромагнітного (динамічного) екранування полягає в тому, що змінне магнітне поле послаблюється по мірі проникнення в метал, через те, що внутрішні шари екрануються вихровими струмами зворотного напрямку, що виникають в шарах, розташованих ближче до поверхні. Дія екранування вихрових струмів визначається двома факторами:

- зворотним полем, створюваним струмами, що протікають в екрані;
- поверхневим ефектом в матеріалі екрану.

Внаслідок екранування внутрішніх шарів вихровими струмами, циркулюючими в поверхневих шарах, змінне магнітне поле послаблюється по товщині матеріалу екрану. Електромагнітне екранування застосовується на високих частотах. Цей спосіб екранування може послаблювати як магнітні, так і електричні поля, тому називається електромагнітним [13].

При проектуванні екрануючих систем можливі два підходи. Перший – це застосування теорії поля. Другий – застосування теорії кіл. При використанні теорії поля вводяться поняття "ефективність екранування" або "коефіцієнт екранування", які в подальшому використовуються в якості

основного критерію вибору конструкції екранів і екрануючих матеріалів.

Замкнутий корпус-екран електронної системи, який розташований в електромагнітному полі джерела перешкоди, ділить простір, що розглядається на три частини: область існування перешкоди (1), безпосередньо екран (2) та область, що екранується (3) (рис. 1.8). Кожна із зазначених областей визначається своїми електрофізичними характеристиками:  $\varepsilon$  – діелектричної проникністю,  $\mu$  – магнітною проникністю і  $\sigma$  – питомою провідністю середовища. За рідкісним винятком області 1 і 3 мають однакові електрофізичні характеристики, які відповідають характеристикам вільного простору ( $\mu = \mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$  Гн/м;  $\varepsilon = \varepsilon_0 = 8,85 * 10^{-12}$  Ф/м; і в ідеальному випадку  $\sigma = 0$ ) [14].



Рисунок 1.8 – Екранування приймача

Кількісно ефективність електромагнітного екрана визначається коефіцієнтом екранування  $S$ , що є відношенням напруженості електромагнітного поля в будь-якій точці простору при наявності екрану ( $E_e$ ,  $H_e$ ,  $P_e$ ) до напруженості поля в цій же точці без екрану ( $E$ ,  $H$ ,  $P$ ) (1.4):

$$S = 20 \lg \left| \frac{E_e}{E} \right| = 20 \lg \left| \frac{H_e}{H} \right| = 10 \lg \left| \frac{P_e}{P} \right| = R + A + B \quad (1.4)$$

де  $R$  – втрати на розсіювання;

$A$  – втрати на поглинання;

$B$  – втрати за рахунок множинного перевідбиття хвилі.

У техніці зв'язку екрануючий ефект прийнято виражати не коефіцієнтом екранування  $S$ , а екраним затуханням  $A$ , яке характеризує величину загасання, що вноситься екраном, і виражається в децибелах або неперах:

$$A_e = 20\lg\left(\frac{1}{S}\right) = 20\lg\left(\frac{E}{E_e}\right) = 20\lg\left(\frac{H}{H_e}\right) \quad (1.5)$$

Очевидно, що, чим менше коефіцієнт екранування  $S$ , тим більше екранне затухання  $A_e$  [15].

В загальному випадку екран не тільки послаблює, а й спотворює поле джерела в області простору, що захищається. Тому його ефективність виявляється різною для електричної та магнітної складових поля і залежить від координат точки вимірювання. Ця обставина значно ускладнює її кількісну оцінку.

Тільки в найпростіших випадках ефективність екрану визначається однозначно. До таких випадків належать:

- екранування напівпростору від плоскої електромагнітної хвилі нескінченно плоским однорідним екраном;
- екранування однорідним кульовим екраном точкового джерела, розміщеного в його центрі;
- екранування однорідним, нескінченно протяжним циліндричним екраном лінійного джерела, що лежить на його осі.

Зазвичай розглядаються в першу чергу саме такі випадки, а реальні ситуації зводяться до них шляхом більшої або меншої ідеалізації. Звичайно, що при цьому у відповідній мірі страждає точність оцінки [16].

Явище відбиття електромагнітного випромінювання при використанні екранів часто проявляє негативний вплив, пов'язаний з формуванням перевідбитої хвилі, яка впливає на екрануючий об'єкт та викликає зміну його параметрів. Через це особливу увагу приділяють розробці екранів та

покриттів, ефективність яких досягається за рахунок поглинання електромагнітних випромінювань.

### 1.5 Екрануючі матеріали та покриття

Складний механізм розповсюдження електромагнітних хвиль та поглинання електромагнітних випромінювань, а також технологічні складнощі синтезу матеріалів із заздалегідь заданими електромагнітними властивостями в широкому діапазоні частот обумовлюють велике різноманіття існуючих матеріалів та покриттів, які можна розділити за їх елементним складом і мікроструктурою (рис. 1.9). За фазовим складом матеріали можна розділити на гомогенні та гетерогенні, тобто, які складаються із однієї або двох і більше фаз. Гомогенні матеріали відрізняються ізотропністю властивостей внаслідок однорідності структури і відповідності з електромагнітними властивостями, що діляться на провідні, магнітні та діелектричні. Найяскравішими представниками гомогенних екрануючих матеріалів є метали, що володіють високою провідністю, а деякі з них (метали підгрупи заліза) – ще й магнітними властивостями. Експлуатаційні властивості металевих матеріалів можуть змінюватися шляхом використання різних сплавів, які представляють із себе тверді розчини [17].



Рисунок 1.9 – Екрануючі матеріали та покриття

Для екранування електромагнітного поля за рахунок відбиття електромагнітного випромінювання можуть використовуватися вуглецеві волокна, полімери та ін..

Вибір матеріалу для електромагнітного екрана залежить від багатьох умов. Металеві матеріали обирають, враховуючи наступні умови:

- необхідність досягнення певної величини ослаблення електромагнітного поля при наявності обмеження розмірів екрана і його впливу на об'єкт захисту;
- стійкість і міцність металу як матеріалу [18].

В якості матеріалів для ефективного екранування використовуються металеві листи і сітки. Сталеві листи товщиною 2-3 мм, зварені герметичним швом, забезпечують найбільший екрануючий ефект (до 100 і більше дБ).

Однак металеві листи мають високу ціну, а виготовлення з них екранів і їх експлуатація вимагають великих витрат. Корозія, що з'являється під час монтажу та напруженість зварювальних швів знижують надійність і довговічність екранів, а необхідність їх періодичної перевірки та усунення дефектів підвищують експлуатаційні витрати.

Останнім часом все ширше застосовуються фольгові і металізовані матеріали, струмопровідні фарби і клеї, радіопоглинаючі будівельні матеріали.

В якості фольгових матеріалів використовуються фольга товщиною 0,01-0,08 мм, і фольга на непровідній підкладці, наприклад на фольгоізолі, яка наклеюється на поверхню, що екранується. Фольга виготовляється з алюмінію, латуні, цинку.

Металізація різних матеріалів застосовується для електромагнітного екранування завдяки універсальності методу розпилення розплавленого металу струменем стисненого повітря. Розпорошені рухомі частки металу з великою швидкістю вдаряються об поверхню підкладки, деформуються і стикаються одна з одною. При цьому забезпечується міцний зв'язок з підкладкою і безперервна провідність покриття. Цей метод дозволяє нанести

металевий шар практично на будь-яку з поверхню: щільний папір, тканину, дерево, скло, пластмасу, бетон і ін. Товщина шару, що наноситься залежить від фізико-хімічних властивостей поверхні.

В якості металу для покриття частіше використовується цинк, рідше алюміній. Алюмінієве покриття має більш високий (приблизно на 20 дБ) коефіцієнт екранування, але воно менш технологічне.

З металізованих матеріалів найбільш широко застосовуються металізовані тканини і плівки (скло). Тканини металізуються як шляхом вплетення в них металізованих або металевих ниток пряжі, так і шляхом нанесення на поверхню тканини шару металу. Ефективність екранування металізованих тканин в високочастотному діапазоні (сотні МГц) досягає 50-70 дБ [19].

Струмопровідні фарби створюються шляхом введення в фарби струмопровідних матеріалів: колоїдного срібла, графіту, сажі, оксидів металу, порошкової міді і алюмінію і інших металів.

Струмопровідні фарби в силу гіршої електропровідності і малої товщини забезпечують меншу в порівнянні з металізованими тканинами ефективність екранування, але не менше 30 дБ в широкому діапазоні частот. Через простоту нанесення на поверхню емалі, широко застосовуються для екранування огорожень (стін, стель, дверей) і фарбування внутрішньої поверхні корпусів апаратури.

Електропровідні клеї застосовуються замість пайки і болтових з'єднань елементів електромагнітних екранів, а також для заповнення щілин і малих отворів в них [19].

## 1.6 Поняття ближньої та дальньої зони

Ряд важливих питань, зокрема і екранування, базується на знаннях структури електромагнітного поля. Електродинамічний розгляд даного завдання дає її опис у всій повноті. Але для багатьох практичних випадків

рішення досить складні або взагалі не можуть бути отримані. Певні обґрунтовані спрощення з цілком прийнятним результатом для інженерної практики істотно полегшують рішення поставленого завдання. Подібні спрощення вводяться і при розробці систем екранування. Для їх обґрунтування необхідно розглянути елементи теорії поширення електромагнітних хвиль.

Електромагнітні хвилі що поширюються, мають дві компоненти у вигляді вектора  $E$  напруженості електричного поля (В / м) і вектора  $H$  напруженості магнітного поля (А / м). Вони ортогональні і знаходяться в одній площині, нормаль до якої визначає напрямок поширення електромагнітної хвилі (рис. 1.10).

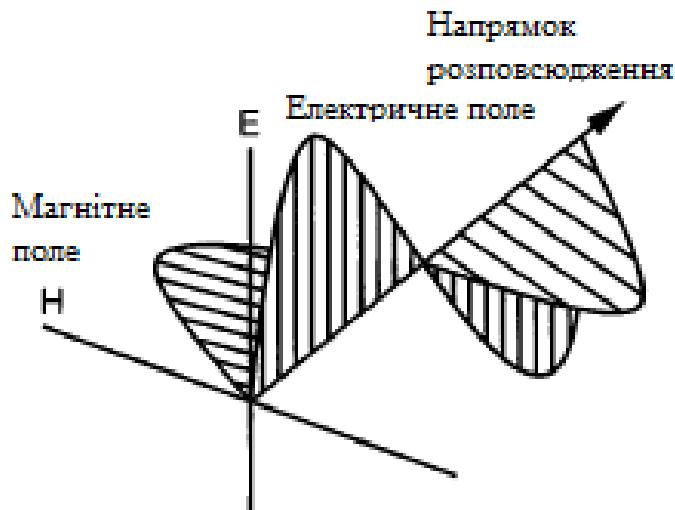


Рисунок 1.10 – Структура електромагнітної хвилі

Параметри електромагнітного поля характеризуються властивостями джерела випромінювання, середовищем навколо джерела і на шляху поширення хвилі, а також відстанню між джерелом і точкою спостереження хвилі. Співвідношення між напруженням  $E$  електричного поля і  $H$  магнітного поля визначає хвильовий опір  $Z$  середовища розповсюдження:

$$Z = \frac{E}{H}, \text{ Ом} \quad (1.6)$$



У безпосередній близькості від джерела електромагнітне поле характеризується внутрішніми властивостями джерела. Джерела з високим хвильовим опором можуть бути представлені у вигляді електричного диполя (антена-штир). Навколо цього диполя формується відносно інтенсивне електричне поле і слабе магнітне поле, чому відповідає згідно (1.6) досить високий (приблизно 3000 Ом) хвильовий опір середовища в безпосередній близькості від диполя.

Джерела перешкод, модель яких представлена у вигляді струмової петлі (магнітного диполя), створюють інтенсивне магнітне поле і слабе електричне в безпосередній близькості від джерела. Це визначає згідно (1.6) досить малий хвильовий опір середовища в околицях джерела (приблизно 30 Ом).

Високий і низький хвильовий опір середовища характерний тільки в безпосередній близькості від джерела перешкод. По мірі віддалення від джерела хвильовий опір  $Z$  середовища прагне до хвильового опору вільного простору 377 Ом, що відповідає режиму поширення плоскої електромагнітної хвилі. Прийнято вважати, що при відстані від джерела, що дорівнює  $\lambda/2\pi$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі синусоїдального коливання, плоска електромагнітна хвиля повністю сформована і хвильовий опір для неї становить 377 Ом [20].

На рис. 1.9 показана межа, після якої можна говорити про сформовану плоску електромагнітну хвилю. Наявність такої межі дозволяє розділити всю область поширення електромагнітних хвиль на дві зони:

- ближню, що охоплює область від джерела до межі, розташованої на відстані  $\lambda/2\pi$ ;
- дальню, що простирається від межі  $\lambda/2\pi$  до нескінченності.

Очевидно, що ніякого різкого переходу між зонами бути не може. Тому завжди має місце деяка перехідна зона формування плоскої електромагнітної хвилі (рис. 1.11).

Рис. 1.12 ілюструє зміну хвильових опорів різних джерел при віддаленні від них. Наприклад, для частоти 100 МГц довжина хвилі

становить 3 м, і межа між ближньою і дальньою зонами буде розташована на відстані приблизно 0,5 м. Чим вище частота, тим ближче до джерела знаходиться межа між зонами. На дуже високих частотах практично весь простір буде відповідати дальній зоні [20].

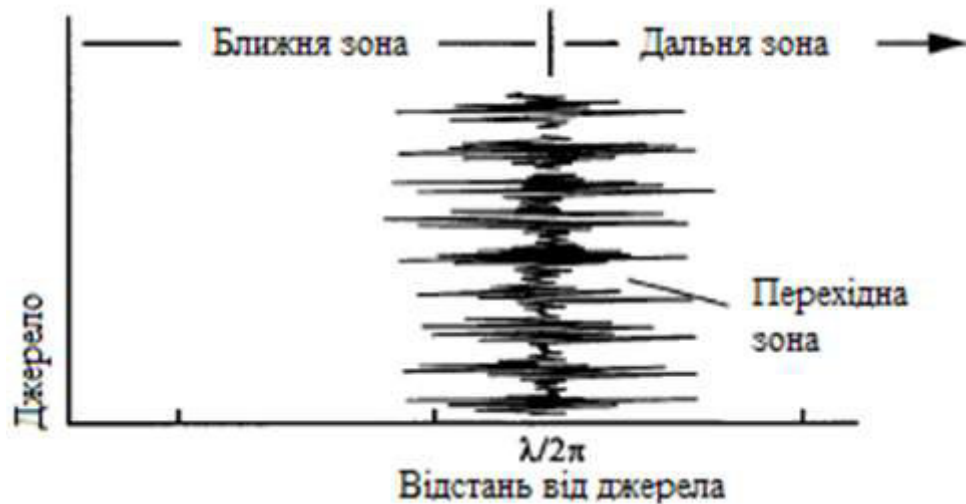


Рисунок 1.11 – Формування плоскої електромагнітної хвилі

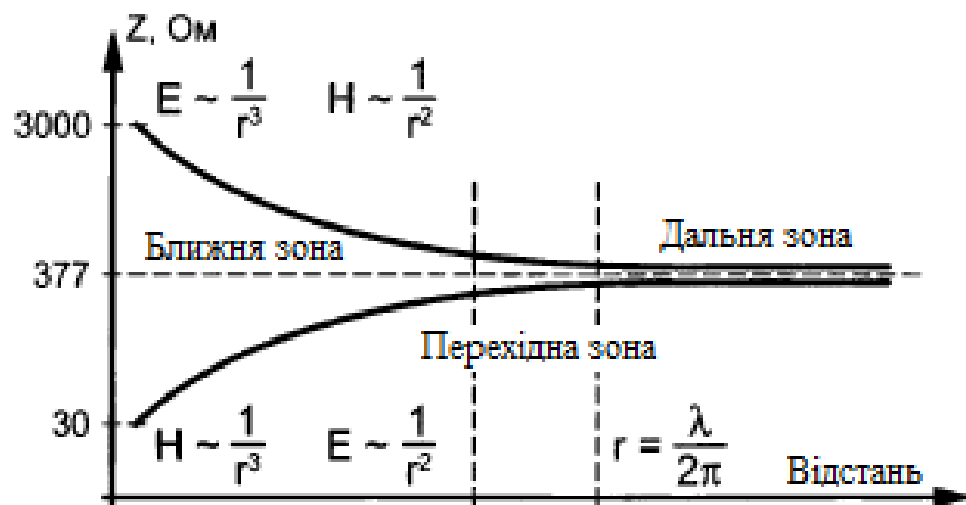


Рисунок 1.12 – Зміна хвильового опору середовища при віддаленні від джерела випромінювання

Для виділених зон характерні наступні особливості.

У ближній зоні переважно діє механізм індукції з досить чітким поділом на магнітну і електричну складові, що вимагає окремого розгляду електричного і магнітного екранування. При наявності індукції джерело і

рецептор пов'язані силовими лініями, і завдання екранування полягає в перехопленні цих ліній і замиканні на заземлені елементи конструкції (для електричного поля) або в напрямку їх в сторону від рецептора (магнітне поле).

Інтенсивність основної компоненти в ближній зоні зменшується обернено пропорційно кубу відстані від джерела, а іншої компоненти – обернено пропорційно квадрату відстані.

Перехідна зона – зона формування плоскої електромагнітної хвилі.

У дальній зоні поширюється плоска електромагнітна хвиля (Т-хвиля). Електромагнітне поле відривається від джерела і поширюється в просторі з постійним хвильовим опором. Тому в дальній зоні поле буде абсолютно однаковим за своєю структурою (співвідношення між  $E$  і  $H$ ) для будь-якого джерела. Це, до речі, надає однозначність результатам вимірювань на завадоемісію, які проводяться при розташуванні антен в дальній зоні.

Інтенсивність електричної і магнітної компонент поля в дальній зоні зменшується обернено пропорційно віддаленню від джерела.

На жаль, тип джерела відомий тільки в окремих випадках (наприклад, трансформатор як джерело магнітного поля). Тому екранування в ближній зоні вимагає апріорних знань властивостей джерела. Очевидно, що для дальньої зони тип джерела не має значення, оскільки в будь-якому випадку поле буде являти собою плоску електромагнітну хвилю [20].

### 1.7 Фізичні принципи екранування

Теорія екранування заснована на двох фундаментальних принципах - на відбитті і поглинанні електромагнітних хвиль при переході їх з одного матеріального середовища в інше. Обидва ці ефекти знижують енергію електромагнітного поля, що пройшла за межі екрана. Найчастіше в якості матеріалу екрана використовується провідник.

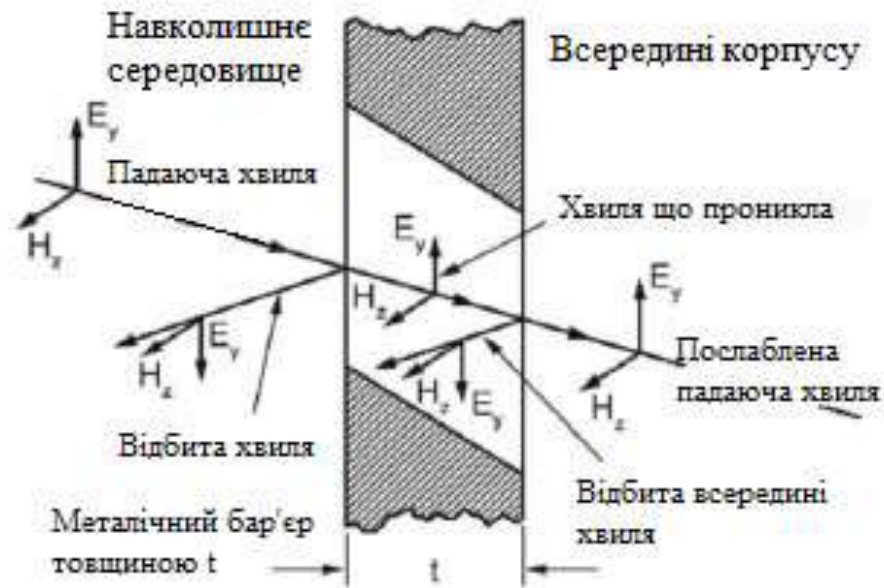


Рисунок 1.13 – Представлення проходження плоскої електромагнітної хвилі через екран

Втрати за рахунок поглинання електромагнітної енергії в товщині металічної стінки екрану залежать від товщини  $\delta$  скін-шару, яка визначається при зниженні амплітуди поля в  $e$  (2,7) раз. Залежність ослаблення електромагнітної енергії від товщини металевої стінки ілюструється на рис. 1.14.

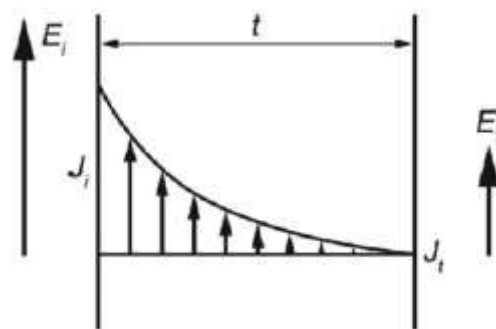


Рисунок 1.14 – Послаблення поля в товщі металічної стінки

Зменшенню амплітуди в  $e$  раз на кожному скін-шарі відповідає ослаблення на  $20 \lg e \approx 8,686$  дБ. При товщині  $t$  екрану, послаблення за рахунок поглинання енергії електромагнітної хвилі, що пройшла через товщу екрану, буде визначатися як:

$$A = 131,4t\sqrt{f\mu_r\sigma_r}, \text{ дБ} \quad (1.7)$$

де  $t$  – товщина стінки екрану, мм;

$\mu_r$  і  $\sigma_r$  – відповідно відносна магнітна проникність і питома провідність відносно міді;

$f$  – частота, МГц.

Втрати на відбиття при екранування обумовлені різницею хвильових опорів між металом і повітрям на кордонах розділу цих середовищ. Механізм відображення представлений на рис. 1.15.

Для визначення складової  $R$  втрат, викликані віддзеркаленням, слід розглядати відношення падаючої електромагнітної хвилі і хвилі що пройшла через стінку екрану. Тоді:

$$R = 20\lg \frac{E_i}{E_{sh}}, \text{ дБ} \quad (1.8)$$

де  $E_i$  – падаюча електромагнітна хвиля, що досягла межі повітря-метал;

$E_{sh}$  – електромагнітна хвиля, яка вийшла з стінки екрану у внутрішню екрановану область.

Хвиля що пройшла у внутрішню область, повинна пройти два кордони розділу середовищ: на вході – повітря-метал і на виході – метал-повітря.

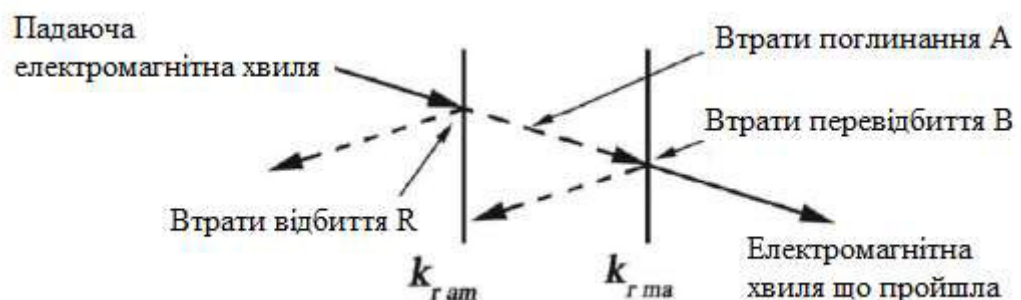


Рисунок 1.15 – Геометрія проходження хвиль через металічний бар'єр

Коефіцієнт відбиття  $k_{ram}$  на кордоні повітря-метал дорівнює:

$$k_{ram} = \frac{Z_m - Z_a}{Z_m + Z_a} = \frac{1 - \frac{Z_a}{Z_m}}{1 + \frac{Z_a}{Z_m}} \quad (1.9)$$

де  $Z_a$ ,  $Z_m$  – відповідно хвильовий опір повітряного простору і металу.

Хвильовий опір  $Z_m$  металу задається формулою:

$$Z_m = 369 \sqrt{f \frac{\mu_r}{\sigma_r}}, \text{ мКОм} \quad (1.10)$$

де  $\sigma_r$  – провідність матеріалу відносно міді;

$\mu_r$  – відносна магнітна проникність;

$f$  – частота, МГц.

При розрахунку екранів слід уточнити цей параметр, що залежить від товщини матеріалу і частоти поля що впливає. При підвищенні частоти в металі формується скін-шар  $\delta$ , який для тонких матеріалів (наприклад, фольги) в ряді випадків більше товщини екрану. При цьому хвильовий опір  $Z_b$  буде визначатися поверхневим опором, значення якого вище, ніж  $Z_m$ .

Багаторазові відбиття складаються з відбиття електромагнітної хвилі від другої межі метал-повітря на виході хвилі з металу, далі при її повторному відбитті від першої межі розділу метал-повітря і т.д. Іншими словами, частина енергії електромагнітної хвилі поширюється в стінці екрану, багаторазово відбиваючись від кордонів розділу середовищ (рис. 1.13). Втрати визначаються показником  $B$ . У більшості випадків фактором  $B$  нехтують, і врахування втрат тільки на відображення і поглинання дасть мінімальне значення ефективності екранування, яке відповідає гіршому випадку. Це пояснюється тим, що частина енергії, перевідбиваючись між

кордонами, не проникає у внутрішню область, що екранується.

При врахуванні фактора  $B$  значення ефективності визначається більш точно, але його внесок у загальну ефективність досить малий. Втрати на багаторазові відбиття можна не брати до уваги, якщо втрати  $A$  на поглинання більше 6 дБ. Дана умова дотримується при використанні матеріалів, товщина яких перевищує товщину скін-шару на робочій частоті.

Неабияку роль грає залежність ефективності екранування від частоти.

На рис. 1.16 показані втрати при поглинанні, як функції від частоти, для декількох, найбільш часто вживаних в екрануванні, металів (товщина стінки 0,5 мм). Варто зазначити, що ці втрати не залежать від хвильового опору середовища.

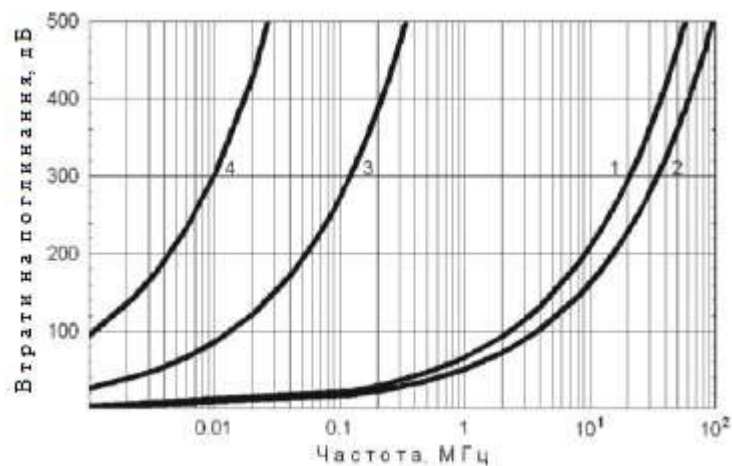


Рисунок 1.16 – Залежність від частоти втрат на поглинання для різних матеріалів

1 – мідь, 2 – алюміній ( $\sigma_r = 0,6$ ), 3 – сталь ( $\mu_r = 1000$ ,  $\sigma_r = 0,17$ ), 4 – пермалой ( $\mu_r = 10000$ ,  $\sigma_r = 0,21$ ).

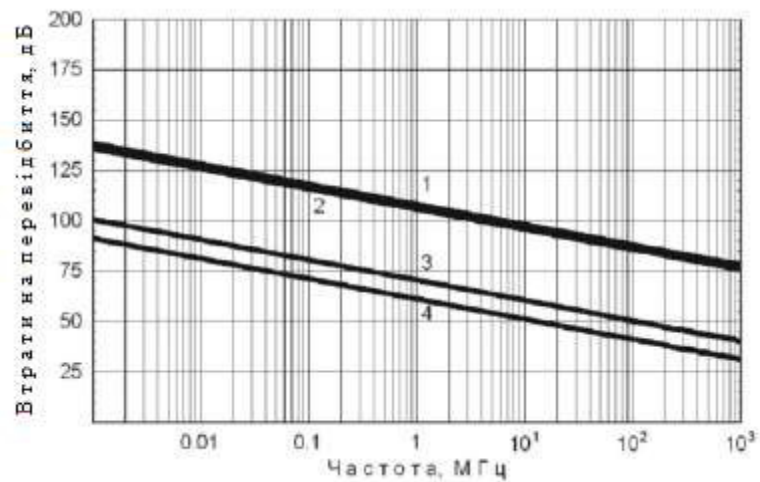


Рисунок 1.17 – Втрати на відбиття для деяких матеріалів (пласка хвиля)  
при товщині матеріалу не більше ніж  $3\delta$

1 – мідь, 2 – алюміній ( $\sigma_r = 0,6$ ), 3 – сталь ( $\mu_r = 500$ ), 4 – пермалой ( $\mu_r = 50000$ ).

У загальному випадку можна сформулювати наступне зауваження: ефективність екрана по відношенню до електричного поля дорівнює або вище, ніж для плоских хвиль, а по відношенню до плоских хвиль дорівнює або вище, ніж до магнітного поля.

Область, де з ростом частоти починає рости ефективність для плоских хвиль, є початком зони втрат на поглинання. Вона виникає в ситуації, при якій товщина металу приблизно дорівнює глибині скін-шару ( $t \approx \delta$ ) або більше нього.

Тонкі матеріали з металів з низькою відносною магнітною проникністю майже не захищають від магнітних низькочастотних полів. Так, ефективність алюмінієвої фольги товщиною 40 мкм буде принаймні 130 дБ для електричного поля і плоских хвиль в широкому діапазоні частот, але, з іншого боку, у неї нульова ефективність по відношенню до магнітних полів частоти 50 Гц [21].

Слід зазначити, що застосування формул для розрахунків електродинамічних екранів в ближній зоні і квазістатичного режиму роботи вимагає критичного аналізу. Для ближньої зони на низьких частотах



(кілогерц і нижче) користуються іншими співвідношеннями. Крім цього, слід враховувати, що магнітні матеріали втрачають свої магнітні властивості на частотах більше кількох кілогерц [21].

### 1.8 Вплив апертур на ефективність екранування

Всі попередні міркування засновувались на тому, що екрануючий матеріал є однорідним, а розміри екрану значно перевищують відстань між джерелом перешкод і рецептором, що дозволяло не брати до уваги витоки через апертури і дифракційні ефекти. Однак в реальній ситуації захисні властивості екранів знижуються через наявність щілин, отворів для елементів управління і кабелів, резонансних ефектів порожнин і т.п., які в літературі називають апертурами. Зазвичай, найбільш значні за розмірами апертури виконуються у вигляді дверей, вікон та інших отворів. Строго врахувати ці чинники – надзвичайно складне завдання, і в інженерній практиці зручно використовувати поправочні коефіцієнти, що коректують неідеальність екрану. Це один з найпоширеніших підходів, оскільки суворе рішення задачі отримання адекватних моделей для неоднорідностей в екрані не гарантує прийнятних по точності рішень.

На рис. 1.18 показана фізична картина проникнення електричного і магнітного полів через апертуру в екрані. Якщо силові лінії потрапляють в екрановану порожнину, то є велика ймовірність впливу поля на кабелі та проводи, що розташовані в їх зоні. При конструюванні екранів основна увага повинна бути приділена заходам по зниженню негативного впливу апертур.

Конструкція екрану приміщення може викликати падіння ефективності через стоячі хвилі, викликані резонансними ефектами на високих частотах. Інша причина зменшення ефективності – посилення поля в його кутах і на гострих краях.

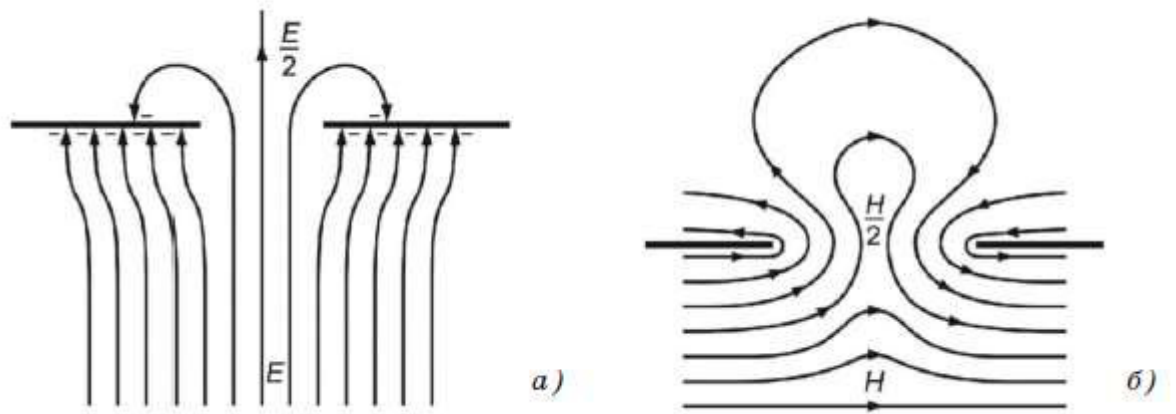


Рисунок 1.18 – Проникнення електричного та магнітного полів через апертуру

Це має місце при високому рівні поля поблизу різкої зміни напрямку металевої стінки. Посилення відбувається через завихрення поля в нерівностях. Негативна дія даного чинника знижується шляхом виконання кутів з можливо великими радіусами сполучень, що наближає форму екрану до оптимальних конфігурацій сфери або циліндра.

В інженерних розрахунках приймається, що всі витoki складаються разом когерентно і їх сума складається когерентно зі значенням ефективності екранування. Це відповідає найгіршому випадку, тому що фази полів витоків можуть бути як однакові (когерентність на низьких частотах), так і відрізнятися випадковим чином (некогерентного на високих частотах).

Розрахунок сумарної ефективності екранування з урахуванням витоків через апертури розраховується за формулою:

$$S_{\Sigma} = -20 \lg [K + \sum_{i=1}^n K_{apn}], \text{ дБ} \quad (1.11)$$

де  $K$  – коефіцієнт екранування суцільного екрану;

$K_{apn}$  – коефіцієнт екранування витoku в зоні  $n$ ;

$n$  – число зон апертур, що викликають витоки.

Дана формула відповідає найгіршому випадку, коли складаються коефіцієнти екранування окремих шляхів витоку електромагнітної хвилі. Знаючи ефективність екранування, виражену в децибелах, можна розрахувати коефіцієнт екранування за формулою:

$$K = \frac{1}{10^{S/20}} \quad (1.12)$$

Ефективність екранування ідеального екрану, що обумовлена матеріалом який застосовується, не грає вирішальної ролі. При наявності апертур сумарна ефективність екранування буде визначатися ефективністю екранування в зоні апертур. Тому саме цим зонам слід приділяти підвищену увагу при створенні екрануючих систем.

Там, де загальна ефективність відносно невисока, скажімо, менше 40 дБ, зазвичай добре взаємопов'язані практика з теорією. Якщо повна ефективність лежить в межах від 40 до 100 дБ, то цей зв'язок може варіюватися від хорошої до поганої залежно від ступеня відхилення однорідності екрану від ідеальної, частоти поля і конструкторського виконання апертур. Коли теорія з практикою пов'язані погано, реальні показники, як правило, завжди нижче розрахункових значень. Наприклад, якщо теоретично ефективність екранування перевищує 100 дБ, то це значення напевно не співпаде з практикою, тому що, як правило, воно буде менше через наявність в екрані неврахованих апертур. Тому висновок про ефективність екранізування можна зробити тільки на основі випробувань [22].

Слід мати на увазі, що для магнітних матеріалів їх магнітна проникність змінюється як від інтенсивності магнітного поля (або щільності потоку), так і від частоти, особливо на частотах вище декількох кілогерц. Починаючи з 100 кГц магнітна проникність у багатьох матеріалів

наближається до одиниці. Тому можливість застосування матеріалів з високою магнітною проникністю на підвищених частотах повинна бути всебічно вивчена [22].

### 1.9 Технічні засобів обробки інформації

Сигнали, що передають інформацію яка потребує захисту, та які можуть бути перехоплені зловмисником з подальшим виділенням цієї інформації, називаються небезпечними. Небезпечні сигнали розділяються на два види: функціональні і випадкові. Функціональні сигнали створюються технічним засобом обробки інформації для виконання заданих функцій. До основних джерел функціональних сигналів відносяться [23]:

- джерела систем зв'язку;
- передавачі радіотехнічних систем;
- випромінювачі акустичних сигналів;

Однак робота сучасних засобів по обробці, зберіганню і передачі інформації супроводжується явищами і фізичними процесами, які можуть створювати побічні радіо або електричні сигнали. Такі сигнали називаються випадковими небезпечними сигналами.

До технічних засобів, які можуть бути джерелами випадкових небезпечних сигналів, відносяться:

- засоби телефонного провідного зв'язку;
- засоби мобільного зв'язку і радіозв'язку;
- засоби електронної пошти;
- засоби обчислювальної техніки;
- аудіоапаратура і засоби звукопідсилення;
- радіоприймальні пристрої;
- відеоапаратура;
- телевізійні засоби;
- засоби лінійної радіотрансляції та оповіщення.

Випадкові небезпечні сигнали також можуть створюватися наступними допоміжними технічними засобами, а саме:

- засоби електрифікації та часофікації;
- засоби охоронної сигналізації;
- засоби пожежної сигналізації;
- оргтехніка (зокрема, принтери);
- засоби системи кондиціонування і вентиляції;
- побутові прилади і інша техніка, що має в складі елементи перетворення акустичної інформації в електричні сигнали;
- електропровідні комунікації будівлі, що проходять через контрольовану зону.

Допоміжні технічні засоби, а також різного роду електричні ланцюги, що розташовуються в безпосередній близькості від основних технічних систем і засобів, можуть володіти антенним ефектом [24]. Цей ефект полягає в перетворенні енергії, що приходить від основних технічних систем і засобів електромагнітної хвилі в енергію електричних струмів. Вторинні технічні системи та засоби, а також ланцюги, що утворюються ними, називаються випадковими приймальними антенами. До зосереджених випадкових приймальних антен відносяться телефонні апарати, датчики охоронної та пожежної сигналізації тощо. До розподілених випадкових антен відносяться різного роду кабелі, дроти систем сигналізації, ретрансляційні мережі, труби, металеві конструкції і т.п.

Під час проходження небезпечних сигналів по елементах і колах технічних засобів, сполучних ліній в навколишньому просторі виникає електромагнітне поле. Тому такі засоби і лінії можна вважати випромінювачами побічних електромагнітних хвиль.

### 1.10 Постановка задачі дослідження

Для підвищення ефективності екранування гнучких матеріалів необхідно вирішити наступні задачі:

- 1 Провести аналіз гнучких екрануючих матеріалів та перспективних розробок у цій сфері;
- 2 Провести порівняльну оцінку екрануючих характеристик сітчастих екранів з різними параметрами;
- 3 Розробити рекомендації по підвищенню ефективності екранування сітчастими екранами.

### 1.11 Висновок

Функціонування будь-якого технічного засобу обробки інформації супроводжується випромінюваннями електричного і магнітного полів, які називають побічними електромагнітними випромінюваннями [2]. Для захисту інформації від витоку каналами побічних електромагнітних випромінювань застосовують активні і пасивні засоби захисту. Одним з ефективних пасивних засобів захисту є екранування джерел електромагнітного випромінювання. Екранування низькочастотних і високочастотних полів відрізняється, що пов'язано з переважанням магнітної складової електромагнітного поля у першому випадку та електричної складової – у другому. Електромагнітне екранування широко використовується, адже завдяки йому можливо послабити як електричну, так і магнітну складові поля. Залежно від спектру частот для виготовлення екранів використовуються різні матеріали.

Найбільш високі показники екранування мають суцільні металеві листи. Однак у них є і недоліки, пов'язані з високою ціною, складністю монтажу та конструктивними обмеженнями, якщо йдеться мова про екранування оглядових та вентиляційних отворів, вікон, дверей і т.п..

Більшості цих недоліків не мають деякі гнучкі екрануючі матеріали, наприклад сітки. Проте у більшості випадків, їх показники екранування дещо поступаються показникам, які демонструють металеві листи. Тому дослідження шляхів підвищення ефективності екранування гнучких матеріалів є актуальним завданням.

## РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ЕКРАНУВАННЯ ПОБІЧНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ГНУЧКИМИ МАТЕРІАЛАМИ ТА КОНСТРУКЦІЯМИ

### 2.1 Аналіз сучасних матеріалів для екранування

Для екранування електромагнітних полів застосовуються спеціальні конструкції і різноманітні матеріали. Спеціальні конструкції включають екрановані споруди, приміщення та камери. Вони можуть бути стаціонарними, збірно-розбірними і мобільними [20].

При розробці конструкцій екранів побічного електромагнітного випромінювання та поглиначів електромагнітних хвиль на теперішній час використовують різноманітні матеріали, які мають властивість відбивати або поглинати це випромінювання у певному діапазоні частот. У природі не існує ні ідеально відбиваючих, ні ідеально поглинаючих електромагнітну енергію матеріалів, тому екранування побічних електромагнітних випромінювань частіше за все забезпечується за рахунок їх комбінування. З цього випливає, що важливу роль при створенні екрану грає сама його конструкція [25].

Принципи створення електромагнітних екранів для будівель та приміщень відомі вже більше ніж 50 років. Однак за останні роки виникло багато галузей, де традиційні рішення не є достатніми. Це пояснюється новітніми досягненнями в області вивчення та аналізу широкосмугових електромагнітних полів і підвищенням вимог до захищеності інформації з обмеженим доступом [26].

При вирішенні завдання локального екранування окремих приміщень застосовують традиційні методи і засоби, зокрема, екрановані кабінки виготовлені з металу. Проте, якщо мова йде про протяжні і розгалужені технічні системи, які займають велику площу на об'єкті інформаційної діяльності, то застосування вищезазначених засобів стає практично неможливим [27].



Металеві листи мають високу ціну, а виготовлення з них екранів і їх експлуатація вимагають великих витрат. Корозія, що з'являється під час монтажу та напруженість зварювальних швів знижують надійність і довговічність екранів, а необхідність їх періодичної перевірки та усунення дефектів підвищують експлуатаційні витрати [20]. Крім того, ефективність таких екранів дуже сильно залежить від якості та надійності монтажу електричних контактів, при порушенні яких з'являються області перевипромінювання ЕМВ. Тому зараз невпинно йдуть пошуки та розробка нових, більш зручних та не менш ефективних матеріалів, які надалі можна бути використовувати в якості альтернативи до класичних матеріалів та конструкцій з них.

### 2.1.1 Радіопоглинаючі матеріали

Застосування екранування, як способу захисту від електромагнітних завад, не завжди дає позитивні результати. Частина енергії електромагнітної хвилі, падаючи на струмопровідну поверхню екрану, відбивається від неї і, як наслідок, впливає на елементи, які знаходяться всередині простору, що екранується. Такий вплив може негативно вплинути на коректність роботи пристрою.

У разі застосування радіопоглинаючих матеріалів енергія електромагнітного випромінювання перетворюється в теплове випромінювання (ІЧ-діапазон). Ці матеріали можуть забезпечувати поглинання радіочастотних перешкод смузі частот від 10 МГц до 60 ГГц. Також є радіопоглинаючі матеріали, які поглинають вузьку смугу частот електромагнітних випромінювань. Матеріали з вузькою смугою частот електромагнітного випромінювання виготовляються з шару поглинаючого матеріалу, закріпленого на металевій основі [28].

Радіопоглинаючі матеріали можуть застосовуватися в якості покриттів різних поверхонь з метою зменшення відбиття від цих поверхонь

електромагнітних хвиль. Принцип дії таких матеріалів засновано на тому, що енергія падаючої на них електромагнітної хвилі перетворюється в теплову енергію. При цьому мають місце явища розсіювання, поглинання, інтерференції, дифракції електромагнітних хвиль, а також взаємна компенсація на кордоні поверхні падаючої і відбитої хвилі. Різниці фаз та збігу значень амплітуди цих хвиль добиваються за рахунок вибору параметрів поглиначів. В залежності від властивостей, радіопоглинаючі матеріали та покриття можуть бути широкодіапазонними та вузькодіапазонними.

Ефективність таких матеріалів достатньо висока і залежить від частотної смуги електромагнітного випромінювання і товщини радіопоглинаючого матеріалу. Коефіцієнт відбиття більшості сучасних радіопоглинаючих покриттів не перевищує одиниць відсотків [29].

Радіопоглинаючі матеріали здатні поглинути до 70% енергії електромагнітної перешкоди. При використанні даного виду матеріалів необхідно забезпечити хороший тепловідвід.

Для отримання поглиначів електромагнітних випромінювань використовуються ферити, феромагнітні матеріали та діелектрики. Також ведеться розробка нових радіопоглинаючих покриттів на основі сегнетоелектриків, але їх ефективність ще невисока, тому вони не можуть бути застосовані на практиці.

В якості сполучного наповнювача в радіопоглинаючих матеріалах може застосовуватися силікон або полімери, а в якості поглинаючого наповнювача – феритовий порошок з великою коерцитивною силою і максимальною петлею гістерезиса або карбонильне залізо. Ефект поглинання радіохвиль в таких матеріалах ґрунтується на явищі згасання падаючої електромагнітної хвилі в товщі матеріалу і перетворення її енергії в теплову. Це відбувається за рахунок появи слабких розсіяних струмів, магнітогістерезисних або високочастотних електричних втрат. Кількість феритового наповнювача по відношенню до сполучного матеріалу може

досягати 70%. Опір поверхні такого матеріалу складає від  $10^5$  Ом до  $10^8$  Ом, що дозволяє встановлювати його безпосередньо на струмопровідні частини апаратури. Граничне значення енергії випромінювання, яку може поглинути радіопоглинаючий матеріал, безпосередньо пов'язано з його температурою максимального робочого режиму. Інтервал робочих температур даного виду радіопоглинаючих матеріалів лежить у проміжку від  $-50$  °С до  $+125$  °С [27].

У зв'язку з розвитком технології отримання композиційних матеріалів, екрануючі властивості яких можуть варіюватися в великому діапазоні за рахунок підбору сполучного матеріалу та наповнювача, особлива увага приділяється гетерогенним радіопоглинаючим середовищам. Матеріали для поглиначів отримують методами порошкової металургії та з використанням технології композиційних матеріалів. В якості вихідної сировини використовують неорганічні порошки та волокна, що закріплені в сполучному матеріалі, який виготовлено на основі неорганічних (оксид алюмінію, титану та ін.) чи органічних (смоли, полімери, пластмаси) матеріалів. Такі матеріали володіють високою ефективністю екранування та великим коефіцієнтом поглинання електромагнітних випромінювань, але їх використання обмежено вузьким частотним діапазоном. Останні дослідження в області розробки композиційних матеріалів направлено на розширення частотного діапазону електромагнітних екранів на основі вказаних матеріалів і отримання багатофункціональних та простих для монтажу конструкцій. Використання дисперсних розчинів з керованими магнітними властивостями також є перспективним, але є перешкоди щодо їх застосування на практиці, зокрема складність синтезу, низька технологічність та невисока стабільність.

Одним із способів підвищення ефективності поглинання електромагнітних випромінювань є використання багатошарових матеріалів, що представляють із себе або симетричні структури, що отримані чергуванням шарів з однаковими електромагнітними властивостями, або градієнтні матеріали, в яких шари розташовано у порядку збільшення електричних та магнітних втрат, яких зазнає електромагнітна хвиля, що

проходить скрізь них, по мірі віддалення від межі розділу. В симетричних багатошарових матеріалах придушення випромінювання відбувається за рахунок багаторазового перевідбиття електромагнітного випромінювання всередині екрану. Градієнтні матеріали можуть бути виконані у вигляді багатошарових структур, або з безперервною зміною параметрів матеріалу за глибиною, причому параметри поверхні екрану, поверненої до джерела електромагнітного випромінювання, підбираються таким чином, щоб забезпечити необхідні відбиваючі характеристики, а загальна ефективність визначається, в основному, властивостями матеріалу всередині екрану [30].

### 2.1.2 Електропровідні полімербетони

Іншим можливим заміником класичних металічних екранів є електропровідні матеріали на основі полімерів. Часто полімери використовують для створення електропровідних матеріалів типу емалей, паст та клеїв. При створенні електропровідних матеріалів необхідно підібрати наповнювачі, що володіють високими електропровідними властивостями. Такими наповнювачами є порошки різних металів: срібла, міді, нікелю, олова, алюмінію, заліза, феромагнітних сплавів та ін.. Але дослідження показали, що введення більшості з цих порошків в полімерну композицію не дало очікуваного результату [31]. Це пояснюється тим, що на поверхні дрібнодисперсних частинок порівняно швидко утворюються оксидні плівки, і опір таких порошків різко зростає. Хороші результати були отримані при введенні в полімерну композицію порошків срібла або нікелю, але ці порошки надзвичайно дорогі та дефіцитні. Останнім часом було розроблено електропровідний матеріал на основі мінеральної вати та поліакриламід, наповненого сажею [31]. Отриманий матеріал має опір 10 Ом.

Основні характеристики цього матеріалу наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні властивості електропровідного матеріалу на основі мінеральної вати і полімерного сполучного

Показник	Технологія виготовлення	
	Пастова	Відливом
Затухання енергії електромагнітної хвилі при частоті 3000 МГц, дБ/см	24-28	26-30
Опір, Ом	10	10

Принцип дії такого екрану аналогічний принципу дії металевого екрану. Затухання енергії електромагнітних хвиль обумовлено переважно її відбиттям від поверхні екрану і лише незначна частина енергії розсіюється у виді тепла в самому екрані.

Такі матеріали мають багато переваг. Електропровідні полімербетони порівняно легко формуються у вироби і конструкції складної форми. Відмінні характеристики обумовлюють створення несучих і самонесучих конструкцій. Вони мають високу корозійну стійкість і менш дефіцитні в порівнянні з кольоровими металами, можуть використовуватися в якості екрануючих матеріалів не тільки від електромагнітних хвиль [31].

### 2.1.3 Наноструктуровані матеріали

Для створення екрануючих конструкцій досить часто використовуються спеціальні магнітом'які сплави та ферити. Однак ці матеріали мають свої недоліки – висока вартість та нетехнологічність, що змушує збільшувати товщину екрану, до того ж матеріали не можна зварювати, так як це призводить до втрати їх магнітних властивостей. Матеріалами, які позбавлені цих недоліків, можуть стати наноструктуровані композиційні радіопоглинаючі матеріали (НКРМ) на полімерній основі [32].

Структура НКРМ повинна відповідати наступним вимогам:

- наявність в полімерній матриці розвиненої електропровідної

наномережі;

- наявність ізольованих одне від одного наночастинок магнітної речовини;
- забезпечення додаткового послаблення електромагнітного випромінювання за рахунок діелектричних втрат;
- отримання мінімальної різниці хвильових опорів на межі НКРМ/повітря.

В якості компонента наномережі, відповідального за поглинання електричної складової електромагнітного випромінювання, найбільш перспективні вуглецеві нановолокна, особливо у разі їх функціоналізації, наприклад, обробки полівініловим спиртом чи активації гідроокисом калію. В якості компонентів, що поглинають магнітну складову електромагнітного випромінювання, найбільший інтерес викликають магнітні наноматеріали, розмір частинок яких порівняний з розміром магнітного домену. Найбільш перспективними є наповнювачі на основі наноферитів. Наповнювач представляє з себе немагнітну матрицю, в нанопорах якої знаходяться кластери фериту. Для отримання таких наповнювачів найбільш технологічними є методи, засновані на одночасному синтезу матриці і феритових нанокластерів. Перший засновано на осадженні матриці в суспензії феритотвірних прекурсів. В другому наноферитовий композит отримують шляхом піролізу аерозолів [32].

Радіопоглинаюча здатність феритових композитів залежить не тільки від хімічного складу та розміру частинок, а й від їх форми.

Щоб НКРМ забезпечували додаткове послаблення електромагнітного випромінювання, необхідна наявність в НКРМ діелектричної фази. В якості такої фази може виступати сама полімерна матриця [32].

### 2.1.4 Металеві сітки

Використання металевих сіток для створення екрануючих конструкцій є досить поширеним. Застосування сітчастих екранів забезпечує зниження їх матеріаломісткості. Екрануюча дія сітчастих провідних екранів (як і суцільних провідних екранів) в змінному електромагнітному полі заснована на ефекті послаблення поля за рахунок дії вихрових струмів, що індукуються в товщі екрану. Ефективність екранування сітчастого екрану визначається відношенням розмірів комірок сітки на довжини електромагнітної хвилі, а також питомою електричною провідністю матеріалу екрану. Екрануюча дія сітчастого екрану послаблюється, коли довжина хвилі стає меншою за розмір комірки сітки екрану [33]. У випадку, коли відстань між мікропроводами сітчастого екрану дорівнює  $\lambda/2$ , він за своїми екрануючими властивостями еквівалентний до суцільного металічного листа [34].

Порівняльні характеристики ефективності сітчастих та металічних екранів представлені в таблиці 2.2 [17].

Таблиця 2.2 – Порівняльні характеристики ефективності екранування, в дБ, сітчастих та металічних екранів з різними параметрами

Вид екрану	Матеріал екрану	Частота, f, кГц				
		10	100	1000	10000	100000
Металічні листи товщиною 0,5 мм	Сталь	64	87	120	120	120
	Мідь	67	70	88	120	120
	Алюміній	65	66	80	120	120
Металічні сітки	Мідь, дріт діаметром 0,1 мм комірки розміром 1x1 мм	65	55	50	42	32
	Сталь, дріт діаметром 0,1 мм комірки розміром 1x1 мм	48	47	42	36	29,5

Матеріал проволочи практично не впливає на величину створюваного сіткою послаблення електромагнітного поля, хоча на низьких частотах мідні сітки ефективніші сталевих за рахунок більш високої питомої провідності міді, однак з підвищенням частоти ця різниця зменшується.

При проектуванні сітчастих екранів необхідно мати на увазі наступне: при однакових діаметрі дроту сітки та лінійного розміру комірки сітки, мідні сітки мають кращі екрануючі властивості на низьких частотах порівняно зі стальними у стільки разів, у скільки питома провідність міді більше, ніж сталі. При сталому лінійному розмірі комірки, в незалежності від матеріалу що використовується, ефективність сітки із товстого дроту вище ніж у сітки, виконаної з тонкого дроту. Так як вплив контакту у вузлах сітки не має значення, сітчастий екран можна обробляти антикорозійними покриттями або, для забезпечення герметичності, сітку можна формувати в неоперені, гумі та інших пружних матеріалах. У більшості випадків сітки виготовляються з міді, латуні, сталі, алюмінію. Якщо сітки є частиною екрану, то вони повинні бути надійно з'єднані з основним екраном за допомогою зварки, пайки чи прижимними рамами [35]. Також для нормальної роботи екрану потрібно забезпечувати надійний електричний контакт у місцях з'єднань окремих частин сітки.

Сітчасті екрани ЕМП можуть виготовлятися шляхом машинної в'язки полотна, у процесі якої спільно з допоміжною ниткою у в'язальне обладнання надходить мікродріт, діаметр і матеріал якого впливають на екрануючі властивості конструкції що формується [34].

Металічні сітки забезпечують відносно високу ефективність екранування, але мають ряд недоліків, до яких можна віднести велику вагу, схильність до корозії, погану технологічність та невисоку механічну міцність. Нещодавно почали приділяти значну увагу різноманітним струмопровідним полімерам ICP (intrinsically conductive polymers) у якості матеріалу для виготовлення сіткових екранів. Такі полімери мають високу діелектричну сталу та можуть сприяти вирішенню наявних недоліків металу,



завдяки їх невисокій вазі, високій опірності корозії та простоті контролю провідності [36].

#### 2.1.5 Фольгові екрани

Екрани, що виготовляються з фольги, мають товщину 0,01-0,05 мм. В основному матеріалом для фольги слугують діаманітні матеріали: алюміній, латунь, цинк. Ефективність цих екранів при екрануванні електромагнітного та електричного полів достатньо висока – 25-50 дБ [35]. Магнітну складову такі матеріали послаблюють гірше. Монтаж екранів з фольги досить простий, кріплення цього матеріалу до основи екрану часто виконується за допомогою клею. Ряд підприємств промисловості випускає екрануючу фольгу з металів із високою магнітною проникністю. З неї вирізають стрічку відповідного розміру, врахувавши широкі ділянки перекриття, і обережно надають екрану бажану форму. Екрани та прокладки з такої фольги можна отримувати за допомогою штамповки [29].

Раніше використання алюмінію в якості матеріалу фольги сильно критикувалося через ненадійність та складність технічного обслуговування, але згодом все змінилося на краще, коли все частіше почали поставати задачі екранування масивних замкнутих просторів та виготовлення екранів специфічної форми (екрануючих стрічок), які б мали невисоку ціну та забезпечували задовільну ефективність екранування.

Також існує низка фольгових екранів з міді. Їх принципова перевага полягає в тому, що вони легко піддаються пайці. Але потрібно пам'ятати, що найкраща ефективність екранування досягається лише тоді, коли в екрані немає проколів, пошкоджень, перекриті усі щілини та шви [37].

### 2.1.6 Радіонепроникні тканини

Струмопровідні ткані матеріали широко використовуються для екранування апаратури та для створення екрануючого одягу, з метою захисту персоналу від високочастотних електромагнітних полів.

В останні роки використання радіонепроникних тканин для виготовлення екранів стає все більш поширеним. Однією з причин росту їх популярності є те, що вони володіють досить вагомими перевагами у порівнянні зі звичайними металевими пластинами. Серед них: невисока вага, гнучкість, легкість виготовлення і монтажу та ін.. За кордоном на даний момент розроблено значну кількість тканин, які за своїми екрануючими властивостями не поступаються екранам з металічних пластин. Так, наприклад, коефіцієнт екранування тканини зразка «Aaronia Shield» сягає 50 дБ [38]. Вітчизняні розробки у цій галузі просуваються значно повільніше. Зразки, що наявні на нашому ринку, поступаються зарубіжним аналогам, а використання останніх ускладнене тим, що їх середня ціна доволі висока [39].

Основні області використання екранів з тканин [21]:

- створення додаткових екранів для екранованої апаратури або локального екрану для неекранованої апаратури;
- захист у вигляді штор для неекранованих вікон;
- встановлення тимчасових екранів
- виготовлення радіочастотного захисного одягу.

Традиційно тканини відносять до групи діелектриків. Це виходить із властивостей сировини, з якої виготовлені нитки та пряжа. Для надання текстильним матеріалам струмопровідні властивості можуть застосовуватися різні методики, як, наприклад, покривання поверхні тканини струмопровідними полімерами, вплітання металічних часток у тканинний шар тощо.

Загалом, електрична провідність та ефективність електромагнітного

екранування тканинного діелектрика будь-якого типу та форми (в'язані, ткані, неткані) може бути покращена завдяки включенню в них металічних ниток, часток або провідних полімерів. Методи надання тканинам струмопровідності дуже сильно різняться між собою та залежать в першу чергу від цільової сфери застосування. Найбільш поширеними методами, кінцевою метою яких є надання тканинам властивостей електромагнітних екранів, є:

- додавання струмопровідних наповнювачів, таких як чорний карбон, карбонові нитки, карбонові нанотрубки, металізовані нитки, металічні нитки (Al, Cu), металічний порошок та «пластівці» (Al, Cu, Ag, Ni) до тканин;
- використання провідних матеріалів у якості ниток, вовни або волокон;
- вплітання провідних волокон або вовни у тканину;
- вкривання тканини провідними матеріалами;
- ламінування поверхні тканини струмопровідним шаром методом оприскування цинком, вкриванням цинковою або іншими провідними фарбами, іонізуючим покриттям, електролізом, вакуумною металізацією, розпилення катодом або поєднання з металічною фольгою;

Вказані вище методи можуть бути поділені на дві категорії, а саме обробка поверхонь та включення металевих компонентів до тканин. Обробка поверхонь, як правило, є складним процесом, займає багато часу та дорого коштує. Саме струмопровідні включення дуже широко використовуються для екранування побічних електромагнітних випромінювань.

Струмопровідні нитки можуть бути екструдовані шляхом додавання провідних матеріалів, таких як карбонові або срібні нанотрубки, карбонові нановолокна. Моно-, мультифіламентні або двокомпонентні волокна виготовляють використовуючи метод формування з розплавленого металу. Короткі струмопровідні волокна можуть бути поєднані з традиційними непровідними волокнами для створення вовни, яка може володіти різними

ступенями електропровідності. Ці процеси базуються на змішуванні волокон полімерів з металічними наповнювачами під час таких хімічних процесів як плавлення або вологе прядіння. Крім цього, такий результат може бути отриманий методом скручення та вкривання синтетичних волокон металізованою пряжею, використовуючи процес механічного обертання. Ці технології рідко використовуються через свою складність.

На ринку представлено два основні структурні типи тканин: зі струмопровідною поверхнею та з повною провідністю. Час від часу можна також побачити термін «тканини з частково струмопровідною поверхнею», який походить від структури волокна, де струмопровідний компонент частково знаходиться на поверхні та частково вкладений у волокно.

Металічні волокна та покриті металом волокна пропонують чіткі переваги над іншими типами наповнювачів. По перше, через те що вони досить тонкі, 6-8 мкм у діаметрі, досить легко досягти високого співвідношення ефективності екранування при малій довжині волокон. Це забезпечує високу ступінь провідності при відносно незначній кількості використаного металу. Другою перевагою є інертна природа деяких сплавів, таких як нікель або нержавіюча сталь. Більш бажаним було б використання алюмінію, міді та сплавів заліза, однак вони можуть окислюватися та іржавіти при контакті з каустичними агентами, тому перевага надається названим вище речовинам через їх здатність зберігати провідність у несприятливих умовах.

Покриття поверхні грає велику роль у наданні прийнятної питомої опору для низки струмопровідних матеріалів. Найчастіше для покриття застосовують метал та провідні полімери. Це, зазвичай, не впливає на гнучкість самої тканини, адже наноситься дуже тонкий та легкий шар провідника. Якщо процес покриття відбувається під час виробництва вовни, можна отримати струмопровідну вовну дуже малого діаметру, і як наслідок, дуже гнучку тканину з невеликою масою. Більша частина радіонепрозорих тканин, вироблених методом покриття, що доступні на ринку, мають

однорідну та закриту структуру, таким чином демонструючи відносно високі показники ефективності електромагнітного екранування та ізотропну поведінку [40].

## 2.2 Розрахунок ефективності екранування сітчастих екранів

В даному розділі буде розраховано коефіцієнти ефективності екранування сітчастих екранів за формулою для визначення ефективності екранування для радіонепроникних тканин. За цими формулами було проведено розрахунок ефективності екранування декількох зарубіжних зразків радіонепроникних тканин, виготовлених тканим способом. Отримані результати збігаються зі значеннями, отриманими в ході лабораторних вимірювань [41], що дає підстави вважати розрахункові формули коректними. Результати розрахунків радіо непроникних тканин наведені у додатку Б.

Оскільки сітки, які виготовлені тканим способом, мають структуру що дуже подібна до тканинної, має сенс перевірити, чи будуть для них справедливими формули, які застосовуються для розрахунку ефективності екранування тканин.

У багатьох науково-дослідних роботах оцінка ефективності екранування проводиться на основі таких аспектів, як техніки вимірювань, склад матеріалів, вплив чинників зовнішнього середовища на значення ефективності екранування або методик розрахунку ефективності екранування.

У роботах, що фокусуються на методиках вимірювання різноманітних струмопровідних тканин, зазвичай присутні базові рівняння для розрахунку ефективності екранування (1.4).

Базові запропоновані математичні моделі ефективності екранування тканин засновані на електричних властивостях (особливо об'ємної провідності) елементів або на аналізі витоку через щілини тканини [41].

Напівемпірична модель, що описує ефективність екранування тканин від плоскої електромагнітної хвилі, представлена на (2.1):

$$S_t = e^{-0,129l*\sqrt{f}} * S_{t\phi} + \left(1 - e^{-0,129l*\sqrt{f}}\right) * S_{\text{апер}} \quad (2.1)$$

де  $S_{t\phi}$  та  $S_{\text{апер}}$  – значення ефективності екранування для металічної фольги, яка має таку ж товщину, що і тканина, та для такої ж фольги з апертурою;

$l$  – розмір апертури тканини;

$f$  – частота.

Розрахунки ефективності екранування фольги  $S_{t\phi}$  добре відомі з теорії екранування:

$$S_{t\phi} = R_{\phi} + A_{\phi} + M_{\phi} \quad (2.2)$$

$$R_{\phi} = 20 \lg \left| \frac{(Z_0 + Z_M)^2}{4Z_0Z_M} \right| \quad (2.3)$$

$$A_{\phi} = 20 \lg |e^{t/\delta} * e^{-j\beta_0 t} * e^{j\beta t}| \quad (2.4)$$

$$M_{\phi} = 20 \lg \left| 1 - e^{-2t/\delta} - e^{-j2\beta t} \left( \frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \right| \quad (2.5)$$

де  $R_{\phi}$  – втрати на відбиття;

$A_{\phi}$  – втрати на поглинання;

$M_{\phi}$  – втрати на множинне перевідбиття;

$Z_0$  – імпеданс вільного простору;

$Z_M$  – імпеданс екрануючого бар'єру;

$t$  – товщина;

$\delta$  – глибина проникнення;

$\beta_0$  – константа вакуумної фази;

$\beta$  – фазова константа.

Розрахунок  $S_{\text{апер}}$  зазвичай виражається майже так само, як і для (1.4) [41]:

$$\begin{aligned} S_{\text{апер}} &= R_{\text{апер}} + A_{\text{апер}} + K_{\text{апер}} = \\ &= 100 - 20 \lg(L * f) + 20 \lg\left(1 + \ln\left(\frac{L}{s}\right)\right) + 30 \frac{D}{L} \end{aligned} \quad (2.6)$$

де  $L$  – максимальний розмір апертури;

$f$  – частота;

$s$  – мінімальна довжина апертури;

$D$  – глибина апертури.

Втрати на відбиття  $R_{\phi}$  зазвичай розраховуються за формулою (2.3). Але розрахунок може бути спрощено через той факт, що метали володіють високою електропровідністю, тобто  $Z_M \ll Z_0$ .

Формула для  $R_{\phi}$  перетворюється на наступну [43]:

$$R_{\phi} = 20 \lg\left(\frac{1}{4} \sqrt{\frac{\sigma}{\omega * \mu_r * \varepsilon_0}}\right) \quad (2.7)$$

де  $\sigma$  – струмопровідність матеріалу;

$\omega$  – кутова швидкість;

$\mu_r$  – відносна магнітна проникність;

$\varepsilon_0$  – діелектрична проникність вакууму.

Струмопровідність матеріалу може бути виражена через відношення до міді. Значення струмопровідності міді  $\sigma_{Cu} = 5,8 * 10^7$  См/м. Струмопровідність матеріалу описується виразом  $\sigma = \sigma_r * \sigma_{Cu}$ , і формула для  $R_{\phi}$  може бути змінена на наступну:

$$\begin{aligned}
R_{\phi} &= 20 \lg \left( \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\sigma_{Cu}}{2 * \pi * \varepsilon_0}} \right) + 20 \lg \left( \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\sigma_r}{f * \mu_r}} \right) = \\
&= 168,14 + 20 \lg \left( \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\sigma_r}{f * \mu_r}} \right)
\end{aligned} \tag{2.8}$$

де  $\sigma_r$  – відносна провідність матеріалу.

Значення імпедансу вільного простору  $Z_0$  та імпедансу екрануючого бар'єру  $Z_M$  також можуть бути спрощені згідно з нерівностями  $Z_M \ll Z_0$  та  $\sigma \gg \omega \varepsilon$  [41]:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = \sqrt{\frac{4 * \pi * 10^{-7}}{8,854 * 10^{-12}}} = 120 * \pi = 377 \tag{2.9}$$

$$Z_M = \sqrt{\frac{j\omega\mu}{\sigma + j\omega\varepsilon}} \approx \sqrt{\frac{\omega\mu}{\sigma}} \tag{2.10}$$

Спрощення розрахунку втрат на поглинання  $A_{\phi}$  – показане у виразі (2.11) та має детальне пояснення, яке наведене у [42]:

$$A_{\phi} = 20 \lg * e^{t/\delta} = 8,6859 * \frac{t}{\delta} \tag{2.11}$$

Згідно з (2.8) та (2.11) запишемо нашу формулу для ефективності екранування фольги  $S_{t\phi}$ :



$$S_{t\phi} = 168,14 + 20 \lg \left( \sqrt{\frac{\sigma_r}{f * \mu_r}} \right) + 8,6859 * \frac{t}{\delta} + \\ + 20 \lg \left| 1 - e^{-2t/\delta} - e^{-j2\beta t} \left( \frac{Z_0 - Z_M}{Z_0 + Z_M} \right)^2 \right| \quad (2.12)$$

Тканини, як і сітки, зазвичай виготовляються шляхом переплітання волокон (дротів) під прямим кутом. Завдяки цьому ми можемо зробити висновок, що отвори у тканині мають квадратну форму. Втрати на відбиття у апертури  $R_{\text{апер}}$  квадратної форми показане у виразі (2.13), а детальне пояснення процесу його отримання наведене у [41]:

$$R_{\text{апер кв}} = 20 \lg * \left( \frac{c}{2 * \sqrt{\pi}} \right) - 20 \lg(l * f) = 158,55 - 20 \lg(l * f) \quad (2.13)$$

де  $c$  – швидкість світла у вакуумі.

Оскільки тканина має певну множину апертур, втрати на відбиття у них описується наступним рівнянням [43-45]:

$$R_{\text{апер множ}} = -20 \lg \sqrt{n} \quad (2.14)$$

де  $n$  – кількість апертур

Для встановлення кількості апертур у зразках буде використовуватись значення найдовшого ряду отворів, відповідно до стандарту ASTM 4935-10, тобто  $l_c = 0,069$  м, та значення щільності тканини  $d_w$ :

$$n = l_c * d_w \quad (2.15)$$

Тож  $R_{\text{апер}}$  тканини може бути представлене у вигляді:

$$R_{\text{апер}} = 158,55 - 20 \lg(l * f) - 20 \lg(\sqrt{n}) \quad (2.16)$$

Значення втрат на поглинання  $A_{\text{апер}}$  включається у формулу (2.6) лише за умови, коли матеріал не є електрично тонким. Ця умова може бути перевірена завдяки порівнянню глибини проникнення хвилі  $\delta$  та товщини матеріалу. Якщо глибина проникнення менша ніж товщина матеріалу, то матеріал вважається електрично товстим.

Було проведено розрахунок глибини проникнення хвилі в діапазоні частот 100 кГц – 100 МГц, а результати розрахунків були порівняні з товщиною сітчастих екранів, що будуть досліджуватись. У результаті, на вказаному діапазоні частот, матеріали для дослідження є електрично тонкими, відповідно, параметр  $A_{\text{апер}}$  не буде включено до розрахунків.

Значення  $K_{\text{апер}}$  бере до уваги геометричну форму апертури у екрані і розраховується наступним чином:

$$K_{\text{апер}} = 20 \lg \left( 1 + \ln \left( \frac{l}{s} \right) \right) \quad (2.17)$$

Оскільки маємо справу з квадратними апертурами, це означає, що  $l = s$ . Тому значення  $K_{\text{апер}}$  не впливає на  $S_{\text{апер}}$ .

Згідно з цим, маємо наступну формулу для визначення  $S_{\text{апер}}$ :

$$S_{\text{апер}} = R_{\text{апер}} = 158,55 - 20 \lg(l * f) - 20 \lg(\sqrt{n}) \quad (2.18)$$

Коефіцієнти ефективності екранування екрануючих матеріалів розраховані для низьких частот в діапазоні 100 кГц – 100 МГц. Розрахунки проведені за допомогою програмного продукту MathCAD.

### 2.2.1 Розрахунок коефіцієнту ефективності екранування апертур

Було проведено розрахунки ефективності екранування зразків екрануючих сіток: Aaronia Mesh та сітки мідної 0,56x0,15 [46, 47].

Основні характеристики сітчастих екранів представлені в таблиці 2.3

Таблиця 2.3 – Основні характеристики зразків сітчастих екранів

Найменування	Матеріал сітки	Товщина, $t$ , мм	Щільність сітки, $d_w$ , витків/см	Довжина апертури, $l$ , мкм	Електропровідність, $\sigma$ , См/м
Aaronia Mesh	Нержавіюча сталь	0,2	8,4	800	$1,45 \cdot 10^6$
Сітка мідна 0,56x0,15	Мідь	0,15	14	560	$5,8 \cdot 10^7$

Проведено розрахунок коефіцієнта екранування апертур для екрану Aaronia Mesh за формулою (2.18) при частоті випромінювань  $f = 100$  кГц:

$$S_{\text{апер}} = 158,55 - 20 \lg(0,8 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^3) - 20 \lg(\sqrt{110}) = 100 \text{ [дБ]}$$

Результати розрахунків  $S_{\text{апер}}$  при  $f = 100$  кГц для апертур сіток представлені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти ефективності екранування поглинанням для апертур сіток при  $f = 100$  кГц

Сітка	$S_{\text{апер}}$ , дБ
Aaronia Mesh	100
Сітка мідна 0,56x0,15	103,7

Результати розрахунків  $S_{\text{апер}}$  при  $f = 200$  кГц для апертур сіток представлені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Коефіцієнти ефективності екранування поглинанням для апертур сіток при  $f = 200$  кГц

Сітка	$S_{\text{апер}}$ , дБ
Aaronia Mesh	94,6
Сітка мідна 0,56x0,15	94

Результати розрахунків  $S_{\text{апер}}$  при  $f = 500$  кГц для апертур сіток представлені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Коефіцієнти ефективності екранування поглинанням для апертур сіток при  $f = 500$  кГц

Сітка	$S_{\text{апер}}$ , дБ
Aaronia Mesh	86
Сітка мідна 0,56x0,15	89,7

Результати розрахунків  $S_{\text{апер}}$  при  $f = 1$  МГц для апертур сіток представлені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Коефіцієнти ефективності екранування поглинанням для апертур сіток при  $f = 1$  МГц

Сітка	$S_{\text{апер}}$ , дБ
Aaronia Mesh	80,1
Сітка мідна 0,56x0,15	83,7

Результати розрахунків  $S_{\text{апер}}$  при  $f = 1$  МГц для апертур сіток представлені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Коефіцієнти ефективності екранування поглинанням для апертур сіток при  $f = 5$  МГц

Сітка	$S_{\text{апер}}$ , дБ
Aaronia Mesh	66,1
Сітка мідна 0,56x0,15	69,7

Результати розрахунків  $S_{\text{апер}}$  при  $f = 20$  МГц для апертур сіток представлені в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Коефіцієнти ефективності екранування поглинанням для апертур сіток при  $f = 20$  МГц

Сітка	$S_{\text{апер}}$ , дБ
Aaronia Mesh	54
Сітка мідна 0,56x0,15	57,7

Результати розрахунків  $S_{\text{апер}}$  при  $f = 50$  МГц для апертур сіток представлені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Коефіцієнти ефективності екранування поглинанням для апертур сіток при  $f = 50$  МГц

Сітка	$S_{\text{апер}}$ , дБ
Aaronia Mesh	46
Сітка мідна 0,56x0,15	49,7

Результати розрахунків  $S_{\text{апер}}$  при  $f = 100$  МГц для апертур сіток представлені в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Коефіцієнти ефективності екранування поглинанням для апертур сіток при  $f = 100$  МГц

Сітка	$S_{\text{апер}}$ , дБ
Aaronia Mesh	40,1
Сітка мідна 0,56x0,15	43,7

### 2.2.2 Розрахунок коефіцієнту ефективності екранування фольги

Розрахунок коефіцієнта екранування фольги для матеріалів що досліджуються, проводився за формулою (2.12).

Результати розрахунків  $S_{t\phi}$  при  $f = 100$  кГц представлені в табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Коефіцієнти ефективності екранування фольги тієї ж товщини, що і зразки сіток при  $f = 100$  кГц

Сітка	$S_{t\phi}$ , дБ
Aaronia Mesh	107,7
Сітка мідна 0,56x0,15	101,3

Результати розрахунків  $S_{t\phi}$  при  $f = 200$  кГц представлені в табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Коефіцієнти ефективності екранування фольги тієї ж товщини, що і зразки сіток при  $f = 200$  кГц

Сітка	$S_{t\phi}$ , дБ
Aaronia Mesh	105,8
Сітка мідна 0,56x0,15	101,4

Результати розрахунків  $S_{t\phi}$  при  $f = 500$  кГц представлені в табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Коефіцієнти ефективності екранування фольги тієї ж товщини, що і зразки сіток при  $f = 500$  кГц

Сітка	$S_{t\phi}$ , дБ
Aaronia Mesh	102,9
Сітка мідна 0,56x0,15	101,6

Результати розрахунків  $S_{t\phi}$  при  $f = 1$  МГц представлені в табл. 2.15.

Таблиця 2.15 – Коефіцієнти ефективності екранування фольги тієї ж товщини, що і зразки сіток при  $f = 1$  МГц

Сітка	$S_{t\phi}$ , дБ
Aaronia Mesh	102,2
Сітка мідна 0,56x0,15	102

Результати розрахунків  $S_{t\phi}$  при  $f = 5$  МГц представлені в табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Коефіцієнти ефективності екранування фольги тієї ж товщини, що і зразки сіток при  $f = 5$  МГц

Сітка	$S_{t\phi}$ , дБ
Aaronia Mesh	93,3
Сітка мідна 0,56x0,15	104,7

Результати розрахунків  $S_{t\phi}$  при  $f = 20$  МГц представлені в табл. 2.17.

Таблиця 2.17 Коефіцієнти ефективності екранування фольги тієї ж товщини, що і зразки сіток при  $f = 20$  МГц

Сітка	$S_{t\phi}$ , дБ
Aaronia Mesh	79,6
Сітка мідна 0,56x0,15	112,9

Результати розрахунків  $S_{t\phi}$  при  $f = 50$  МГц представлені в табл. 2.18.

Таблиця 2.18 – Коефіцієнти ефективності екранування фольги тієї ж товщини, що і зразки сіток при  $f = 50$  МГц

Сітка	$S_{t\phi}$ , дБ
Aaronia Mesh	71,4
Сітка мідна 0,56x0,15	125,2

Результати розрахунків  $S_{t\phi}$  при  $f = 100$  МГц представлені в табл. 2.19.

Таблиця 2.19 – Коефіцієнти ефективності екранування фольги тієї ж товщини, що і зразки сіток при  $f = 100$  МГц

Сітка	$S_{t\phi}$ , дБ
Aaronia Mesh	64,4
Сітка мідна 0,56x0,15	140,4

### 2.2.3 Розрахунок коефіцієнту ефективності екранування обраних зразків сіток

Проведено розрахунок коефіцієнта ефективності екранування  $S_t$  для екрану Aaronia Mesh за формулою (2.11) при частоті випромінювань  $f = 100$  кГц:

$$S_t = e^{-0,129 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{100 \cdot 10^3}} \cdot 107,7 + \left(1 - e^{-0,129 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{100 \cdot 10^3}}\right) \times \\ \times 100 = 107,4 \text{ [дБ]}$$

Результати розрахунків коефіцієнтів ефективності екранування сітчастих екранів для діапазону частот 100 кГц – 100 МГц представлені в табл. 2.20.



Таблиця 2.20 – Коефіцієнти ефективності екранування  $S_t$ , дБ сітчастих екранів в діапазоні частот 100 кГц – 100 МГц

Частота	$S_t$ , дБ	
	Aaronia Mesh	Сітка мідна 0,56x0,15
100 кГц	107,4	101,4
200 кГц	105,3	101,3
500 кГц	101,3	101
1 МГц	101,3	100,7
5 МГц	87,7	99,5
20 МГц	81,5	97,7
50 МГц	74,3	95
100 МГц	66	90,7

#### 2.2.4 Порівняльна оцінка екрануючих характеристик розглянутих сітчастих екранів

Для графічного аналізу проведених розрахунків побудовано залежності коефіцієнтів ефективності екранування сітчастих екранів від частоти електромагнітного випромінювання (рис. 2.1).

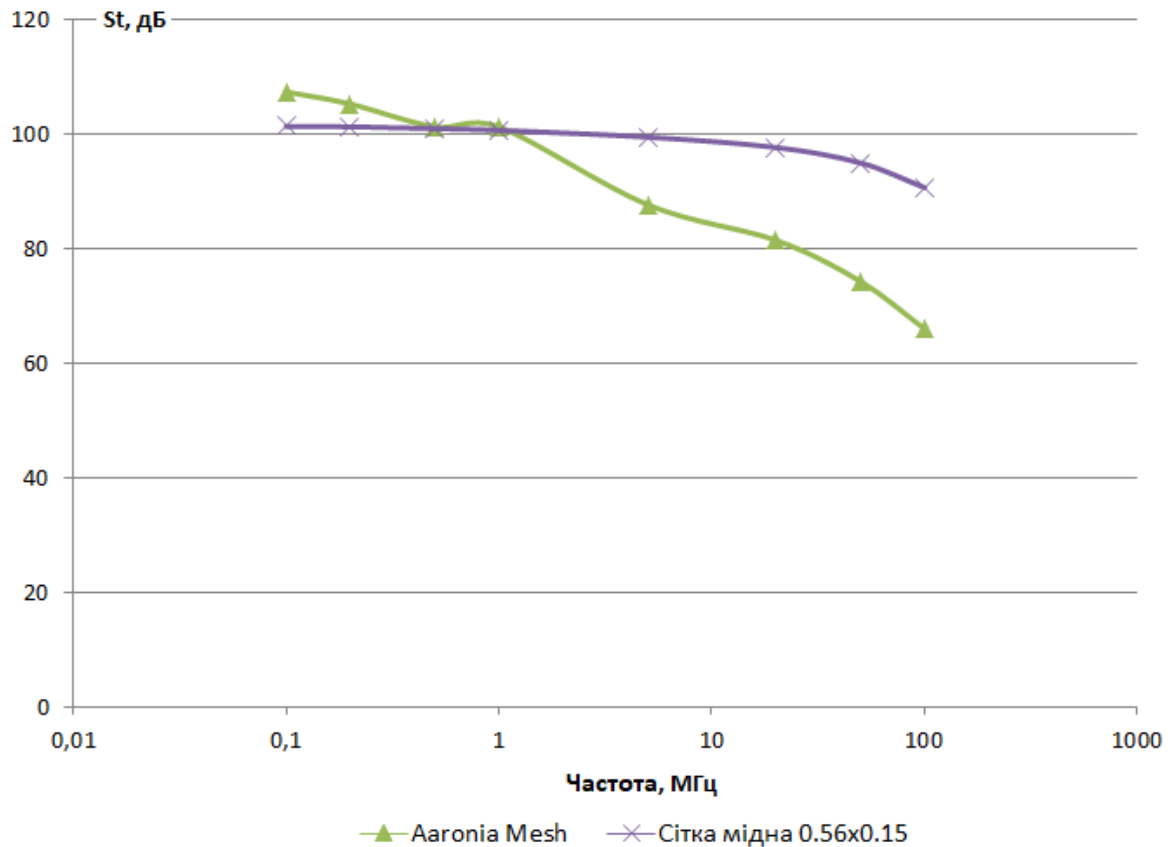


Рисунок 2.1 – Графіки залежності коефіцієнтів ефективності екранування сітчастих екранів від частоти електромагнітного випромінювання

На графіках залежності наочно видно, що на діапазоні частот до 500 кГц, найвищими показниками екранування володіє екран “Aaronia Mesh”, при цьому найкраще свої екрануючі властивості вона показує на частотах до 1 МГц – більше ніж 100 дБ. Але з подальшим зростанням частоти, ефективність екранування різко йде на спад і на частоті 100 МГц ефективність екранування становить 66 дБ.

Дещо нижчими, але більш стабільними показниками володіє мідна сітка. На частотах до 10 МГц, ефективність екранування коливається у межах 100 дБ. Далі, зі зростом частоти, ефективність екранування цього зразка починає поволі знижуватись, і на частоті 100 МГц вже становить 90 дБ.

### 2.3 Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності екранування побічних електромагнітних випромінювань

На основі проведеного дослідження екрануючих сіток, розроблено рекомендації по підвищенню ефективності екранування побічних електромагнітних випромінювань.

В першу чергу слід зазначити, що на ефективність екранування сіток істотно впливають наступні параметри: електрична провідність, величина апертури та товщина екрану. Зокрема було встановлено наступні залежності: чим вище провідність матеріалу, з якого зроблено сітчастий екран, тим вище ефективність екранування. Величина апертури впливає наступним чином: чим вище розмір апертури, тим нижче буде ефективність екранування у діапазоні високих частот. Разом з цим, на область низьких частот величина апертури майже не чинить ніякого впливу. Товщина екрану, в свою чергу, має наступний ефект: чим вище цей показник, тим вища ефективність екранування такої сітки.

Загалом, сітчасті екрани що були розглянуті в роботі, мають досить високі коефіцієнти екранування, особливо у області низьких, середніх та високих частот. Важливо відзначити, що такі екрани порівняно прості у виготовленні, а також потребують меншої кількості матеріалу, ніж екрани з суцільних листів металу, що позитивно відображається на їх вартості. Ще однією перевагою таких матеріалів є їх невисока вага, а також легкість та зручність монтажу. Крім того, вони не перешкоджають циркуляції повітря в екранованому об'єкті, тож цілком підходять для екранування вентиляційних та інших технічних отворів, які неодмінно є у будь-якому захищеному приміщенні або елементі апаратури.

З часом ефективність таких екранів може знижуватись через корозію та забруднення. Також ціна зарубіжних аналогів таких екранів – надзвичайно висока. Тому має сенс проводити власні, вітчизняні дослідження по підвищенню ефективності екранування сітчастих екранів, а також їх

механічних властивостей.

Для поліпшення екрануючих властивостей сітчастих екранів, можна запропонувати наступне:

- використання матеріалів з високою електричною провідністю, у тому числі, електропровідні композитні полімери;
- зменшення лінійної довжини апертури до мінімально допустимих значень, для підвищення ефективності екранування на високих частотах;
- виготовлення сіток з комірками округлої форми для зменшення сумарної площі апертур;
- підвищення щільності сітки.

З огляду на стан питання щодо дослідження екрануючих властивостей гнучких екрануючих матеріалів, можна запропонувати такі напрямки подальших робіт у цій сфері:

- використання різних технік плетення сіток та дослідження впливу використаних технік на ефективність екранування;
- накладення сітки у декілька шарів, з різними комбінаціями розміщення комірок;
- дослідження впливу відношення сторін апертури на ефективність екранування;
- пошук нових матеріалів для покращення ефективності екранування в широкому діапазоні частот та для поліпшення механічних властивостей.

## 2.4 Висновок

На даний момент існують різні засоби захисту від витоку інформації по технічним каналам. З урахуванням розвитку інформаційних технологій і можливостей здійснення промислового шпигунства, будь-яке підприємство, що володіє конфіденційною інформацією має убезпечити себе від подібних витоків.

Використання екрануючих конструкцій допомагає вирішити питання витоку інформації через побічні електромагнітні випромінювання. Використання гнучких екрануючих конструкцій допомагає уникнути конструктивних обмежень, які накладають класичні екрани з суцільних металевих листів.

Показано, що подібні екрануючі матеріали, у деяких ситуаціях, не поступаються суцільним металевим екранам. Також, особливості сітчастих екранів забезпечують їм високий потенціал для модернізації. До того ж, певну зацікавленість викликають і інші гнучкі екрануючі матеріали, наприклад тканини. Відносна складність їхньої структури, та велика кількість параметрів, що можуть позитивно вплинути на поліпшення їхніх екрануючих властивостей, дає широкий простір для їхнього дослідження.

Перспективними є подальші дослідження з метою поліпшення екрануючих властивостей наявних матеріалів, та пошук нових. Особливо важливо це робити на вітчизняному рівні. Використання комунікаційних засобів та пристроїв лише буде збільшуватись у майбутньому і тому проблема зменшення побічних електромагнітних випромінювань потребуватиме значної уваги.

Для підвищення ефективності екранування побічного електромагнітного випромінювання гнучкими матеріалами, були вирішені наступні задачі:

4 Проведено аналіз гнучких екрануючих матеріалів та перспективних розробок у цій сфері;

5 Проведено порівняльну оцінку екрануючих характеристик сітчастих екранів з різними параметрами;

6 Розроблено рекомендації по підвищенню ефективності екранування сітчастих екранів.

### РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В дипломному проекті досліджено властивості сітчастих екранів, що використовуються для екранування побічних електромагнітних випромінювань та проведено розрахунки ефективності екранування декількох зразків таких екранів. В економічній частині буде проведено розрахунок економічної ефективності використання подібних конструкцій на підприємстві. Для оцінки економічного ефекту, буде порівняно вартість встановлення сітчастого екрану на вікна та повітропроводи кабінету директора з величиною фінансових втрат у випадку несанкціонованого зняття інформації шляхом перехоплення побічних електромагнітних випромінювань.

#### 3.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні витрати на закупку та встановлення електромагнітного екрану розраховуються за формулою:

$$K = K_{аз} + K_{н} \quad (3.1)$$

де  $K_{аз}$  – вартість закупівлі екрану та допоміжних матеріалів, тис. грн.;

$K_{н}$  – витрати на встановлення екрану, тис. грн..

Для закупівлі обрано сітку 0,56x0,15 через свої задовільні екрануючі властивості та невисоку ціну. В умовному кабінеті встановлено два двостулкових металопластикових вікна стандартних розмірів (1200x1200 мм) та один повітропровід діаметром 100 мм.

Результати розрахунку капітальних витрат наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок капітальних витрат

Вид витрат	Вартість, грн..
Мідна сітка 0,56x0,15, 3 м <sup>2</sup>	1400
Монтаж	1200
Всього	2600

### 3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за визначений період (наприклад, рік), що виражені у грошовій формі.

У даному випадку експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C = C_a + C_{\text{тос}} \quad (3.2)$$

$$C_a = \frac{K}{n} = \frac{2600}{2} = 1300 \quad (3.3)$$

де  $C_a$  – річний фонд амортизаційних відрахувань, грн.;

$C_{\text{тос}}$  – витрати на технічне й організаційне адміністрування та сервіс, грн.;

$n$  – строк корисного використання основних засобів, становить два роки для електромагнітного екрану, років.

Сума витрат на технічне й організаційне адміністрування та сервіс встановленого електромагнітного екрану визначається як 1-3% від вартості капітальних витрат і становить 78 грн.

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складають 1378 грн.

### 3.3 Оцінка величини збитку

У приміщенні директора умовного підприємства, де будуть встановлені електромагнітні екрани, постійно зберігається та обробляється інформація що має високу цінність. Величина збитку від несанкціонованого заволодіння нею третіми особами умовно становить 50 000 грн.

### 3.4 Загальний ефект від впровадження системи інформаційної безпеки

Загальний ефект від впровадження системи інформаційної безпеки визначається з урахуванням ризиків порушення інформаційної безпеки і становить:

$$E = B * R - C \quad (3.4)$$

де  $B$  – загальний збиток від атаки на вузол або сегмент корпоративної мережі, тис. грн.;

$R$  – очікувана імовірність атаки на вузол або сегмент корпоративної мережі, частки одиниці;

$C$  – щорічні витрати на експлуатацію системи інформаційної безпеки, тис. грн.

Величина загального ефекту для умовного підприємства складатиме:

$$E = 50 * 0,2 - 1,378 = 8,622$$

### 3.5 Визначення та аналіз показників економічної ефективності системи інформаційної безпеки

Коефіцієнт повернення інвестицій ROSI показує, скільки гривень додаткового прибутку приносить одна гривня капітальних інвестицій на



впровадження системи інформаційної безпеки.

Щодо до інформаційної безпеки говорять не про прибуток, а про запобігання можливих втрат від атаки на ТЗП, а отже:

$$ROSI = \frac{E}{K} = \frac{8,622}{2,6} = 3,32 \quad (3.5)$$

Для остаточної оцінки необхідно порівняти розрахункове значення ROSI з бажаним значенням показника ефективності  $E_H$ .

Проект системи інформаційної безпеки визнається доцільним за умови:

$$ROSI > E_H \quad (3.6)$$

В якості  $E_H$  прийнято норму прибутковості від покладення коштів  $K$  на депозитний рахунок у банку:

$$E_H = (N_{\text{деп}} - N_{\text{інф}})/100 = (0,16 - 0,099)/100 = 0,00061 \quad (3.7)$$

де  $N_{\text{деп}}$  – річна депозитна ставка, 16%;

$N_{\text{інф}}$  – річний рівень інфляції за 2018 рік, 9,9%.

Оскільки  $ROSI > 0,00061$ , проект інформаційної безпеки є доцільним.

### 3.6 Висновок

В економічному розділі було розраховано витрати на закупівлю, встановлення та технічне обслуговування екрану з металічної сітки, а також показник загального ефекту від впровадження системи інформаційної безпеки та коефіцієнт повернення інвестицій ROSI.

Значення показника загального ефекту становить 8,622, тобто у разі

здійснення атаки на умовне підприємство, сума відвернених збитків становитиме 8622 грн., що значно менше від загальної суми капітальних витрат.

Значення коефіцієнта ROSI становить 3,32, тобто кожна гривня капітальних інвестицій допоможе запобігти втраті трьох гривень від можливого збитку внаслідок атаки, що набагато більше ніж прибуток від покладення суми капітальних витрат на депозитний рахунок.

Судячи з отриманих результатів, можна зробити висновок що використання сітчастих екранів є економічно доцільним.

## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі розв'язано актуальне наукове завдання щодо підвищення ефективності екранування та застосування гнучких екрануючих матеріалів для екранування побічних електромагнітних випромінювань. В ході розв'язання поставлених задач були отримані наступні наукові та практичні результати:

1. Проведено аналіз процесу виникнення побічних електромагнітних випромінювань;
2. Проведено аналіз способів захисту інформації з обмеженим доступом від витоку каналами побічних електромагнітних випромінювань;
3. Проведено аналіз принципів екранування побічних електромагнітних випромінювань;
4. Проведено аналіз наявних гнучких екрануючих матеріалів;
5. Дана порівняльна оцінка екрануючих властивостей декількох екранів з металевих сіток;
6. Розроблено рекомендації по підвищенню ефективності екранування побічного електромагнітного випромінювання сітчастими екранами;
7. Розроблено рекомендації щодо подальших напрямків дослідження гнучких екрануючих матеріалів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Васильев Р.А., Ротков Л.Ю. Обнаружение побочных электромагнитных излучений и наводок с помощью программно-аппаратного комплекса «Легенда»: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2018. – 45 с.
2. Хорев А.А. Техническая защита информации: учеб. пособие для студентов вузов. В 3 т. Т. 1. Технические каналы утечки информации. - М.: НПЦ «Аналитика», 2008. – 436 с.
3. Бузов Г.А., Калинин С.В., Кондратьев А.В. Защита от утечки информации по техническим каналам: Учебное пособие. — М.: Горячая линия-Телеком, 2005. — 225 с.
4. Диполь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/84694/Диполь>
5. Raymond A. Serway, John W. Jewett Jr. Physics for Scientists and Engineers Volume 1 – Cram101 Textbook Reviews, 2016. – 826 p.
6. Мельников В.П. Информационная безопасность и защита информации: Учебное пособие для вузов — М.: Академия, 2008. — 336 с.
7. Электростатическое экранирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studopedia.info/3-121191.html>
8. Сущность электростатического экранирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lektsii.com/2-72553.html>
9. Виды экранирования. Принципы действия экранов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studopedia.info/3-99413.html>
10. Экранирование в ближней зоне [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/1082353/page:30/>
11. Технические методы и средства защиты информации / Ю.Н. Максимов, В.Г. Сонников, В.Г. Петров и др. - СПб.: «Издательство Полигон», 2000. – 320 с.
12. Конструирование и технология электронных средств: учебное

пособие / В.И. Иевлев. 2-е изд., стереотипн. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ – УПИ, 2007. – 217 с.

13. В. А. Ворона, В. О. Костенко, “Способы и средства защиты информации от утечки по техническим каналам”, *Comp. nanotechnol.*, 2016, № 3. – 223 с.

14. Общие принципы электромагнитного экранирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://neo-chaos.narod.ru/useful/emc/screening\\_principles.pdf](http://neo-chaos.narod.ru/useful/emc/screening_principles.pdf)

15. Измерение параметров передачи электрических кабелей: Лабораторный практикум по дисциплине “Направляющие системы телекоммуникаций” Мн.: БГУИР, 2005.– 30 с.

16. Экранирование статических и динамических полей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/994531/>

17. Л.М. Лыньков, В.А. Богуш, Т.В. Борботько, Е.А. Украинец, Н.В. Колбун Новые материалы для экранов электромагнитного излучения // Доклады БГУИР. 2004. №3.

18. Шапиро Д.Н. Электромагнитное экранирование Научное издание. — Долгопрудный: Интеллект, 2010. — 120 с.

19. Методы защиты информации от утечки через ПЭМИН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intuit.ru/studies/courses/2291/591/lecture/12704>

20. Средства экранирования электромагнитных полей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.delphiplus.org/inzhenertekhnicheskaya-zashchita-informatsii/sredstva-ekranirovaniya-elektromagnitnykh-polei.html>

21. Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В. Экранирование технических средств и экранирующие системы / Кечиев Л.Н., Акбашев Б.Б., Степанов П.В. - 2010 г. – 470 с.

22. Акбашев Б.Б., Балюк Н.В., Кечиев Л.Н. Защита объектов телекоммуникаций от электромагнитных воздействий / Акбашев Б.Б., Балюк

Н.В., Кечиев Л.Н. – М.: Грифон, 2014. – 472 с.

23. Ярочкин В. И. Система безопасности фирмы. - М.: Ось-89, 1997
24. Хорошко В.А., Чекатков А.А. Методы и средства защиты информации К.: Юниор, 2003. — 476 с.
25. Лыньков Л.М. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения // Л.М. Лыньков, В.А. Богуш, В.П. Глыбин и др. – Минск: – 2000. – 284 с.
26. Дослідження характеристик вітчизняних радіонепрозорих тканин Н1, Н2 та Н3 при різних комбінаціях їхнього застосування / Ю.Є. Яремчук, В.С. Катаєв, М.Ю. Гижко, П.В. Павловський // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — 2016. — Т. 18, № 1. — С. 42-51.
27. R. Pemmalaraj., B.S. Dasaradam. Electromagnetic shielding effectiveness of copper core yarn knitted fabrics / / Indian Journal of Fibre & Textile Research. - 2009. - Vol.34. – 154 p."
28. Применение радиопоглощающих материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studbooks.net/2195131/tehnika/primenenie\\_radiopogloschayuschih\\_materialov](https://studbooks.net/2195131/tehnika/primenenie_radiopogloschayuschih_materialov)
29. Царегородцев А.В. Методы и средства защиты информации в государственном управлении : учеб. пособие / М.М. Тараскин, А.В. Царегородцев .— М. : Проспект, 2017 .— 205 с.
30. Антонов Ю. Ф., Зайцев А. А., Корчагин А. Д., Юдкин В. Ф. Магнитолевитационные транспортные системы и технологии // Сборник материалов 2-ой Международной научной конференции. Санкт-Петербург, Петербургский государственный университет путей сообщения, 17-20 июня 2014 г. / под ред. проф. Ю. Ф. Антонова. – Киров: МЦНИП, 2014. – 461 с.
31. Электропроводящие полимербетоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://msd.com.ua/polimerbetony/elektroprovodyashhie-polimerbetony/>
32. Использование наноструктурных материалов для повышения надежности РЭА [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://www.nanoindustry.su/journal/article/2312>

33. Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 3. 4-е изд. / К.С. Демирдян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровин, В. Л. Чечурин. – СПб.: Питер, 2006. – 377 с.

34. Конструкции экранов электромагнитного излучения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/5-8074.html>

35. В.Г. Герасимов Электротехнический справочник. Том 1. Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. «Электротехнический справочник: Общие вопросы. Электротехнические материалы» МЭИ, 2003. – 440 стр.

36. Kwon, S.H., Kim, B.R. and Lee, H.K. “Electromagnetic shielding effectiveness of grid-mesh films made of polyaniline: a numerical approach,” CMC: Computers, Materials, & Continua, 21, 2011. – 86 p.

37. Leland H. Hemming Architectural Electromagnetic Shielding Handbook: A Design and Specification Guide. – John Wiley & Sons, 2000. – 244 p.

38. Hoch transparenter 50dB Abschirmstoff for HF und elektrisches Feld Aaronia Shield [Электронный ресурс]: Aaronia AG. — Режим доступа: <http://www.aaronia.de/produkte/abschirmungen/Aaronia-Shield-50dB/>

39. Дослідження характеристик вітчизняних радіонепрозорих тканин Н1, Н2 та Н3 при різних комбінаціях їхнього застосування / Ю.Є. Яремчук, В.С. Катаєв, М.Ю. Гижко, П.В. Павловський // Реєстрація, зберігання і обробка даних. — 2016. — Т. 18, № 1. — С. 42-51.

40. Maciej Jaroszewski, Sabu Thomas, Ajay V. Rane Advanced Materials for Electromagnetic Shielding: Fundamentals, Properties, and Applications. – John Wiley & Sons, 2018. – 464 p.

41. Neruda M. Vojtech L. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Woven Fabrics with High Electrical Conductivity: Complete Derivation and Verification of Analytical Model. – Materials 2018, 11, 1657.

42. Vojtech L. Neruda M. Hajek J. Planar Materials Electromagnetic

Shielding Effectiveness Derivation. – Int. J. Com. Antenna Propag. 2011, 1, p. 21–28.

43. Ott H.W. Electromagnetic Compatibility Engineering: 1st ed. John Wiley & Sons. – Hoboken NJ USA 2009 p. 238–300

44. Tim W. EMC for Product Designers, 3rd ed. Newnes. – Oxford UK, 2001. – 308 p.

45. Electromagnetic Compatibility [Электронный ресурс]. Режим доступа:

[http://www.urel.feeb.vutbr.cz/~drinovsky/?download=Skripta\\_%20EMC.pdf](http://www.urel.feeb.vutbr.cz/~drinovsky/?download=Skripta_%20EMC.pdf)

46. High end EMC screening mesh `Aaronia Mesh` [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://assets.tequipment.net/assets/1/26/Aaronia\\_Mesh.pdf](https://assets.tequipment.net/assets/1/26/Aaronia_Mesh.pdf)

47. Сетка медная 0.56x0.15 ТУ 1276-003-38279335-2013 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://td-mc.ru/product/setka-mednaya-056h015>



## ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	37	
6	A4	Спеціальна частина	30	
7	A4	Економічний розділ	5	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Перелік посилань	5	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	2	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	
14	A4	Додаток Д	1	

## ДОДАТОК Б. Розрахунок ефективності екранування для радіонепроникних тканин

Проведено розрахунок коефіцієнтів ефективності екранування зарубіжних радіонепроникних тканин лінійки SilverR.STAT®.

Таблиця 1 – Основні характеристики зразків тканини

Найменування	Матеріал тканини	Товщина, мм	Щільність тканини, витків/см	Довжина апертури, мкм	Електропровідність, См/м
SilverR.STAT® 240dtex/10F	Срібло, поліамід	$295 \cdot 10^{-3}$	13	517	$1,71 \cdot 10^4$
60% PES/40% SilverR.STAT® 3.3dtex	Срібло, поліестер	$537 \cdot 10^{-3}$	16	386	$1 \cdot 10^3$

Результати розрахунків коефіцієнтів ефективності екранування екрануючих матеріалів для діапазону частот 100 кГц – 100 МГц представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Коефіцієнти ефективності екранування  $S_t$ , дБ екрануючих тканин в діапазоні частот 100 кГц – 100 МГц

Частота	$S_t$ , дБ	
	SilverR.STAT® 240dtex/10F	60% PES/40% SilverR.STAT® 3.3dtex
100 кГц	57,5	38,3
200 кГц	57,8	38,6
500 кГц	58,1	39,1
1 МГц	58,4	39,6
5 МГц	58,5	40,9
20 МГц	57,2	41,8
50 МГц	54,6	41,7
100 МГц	51,2	40,8

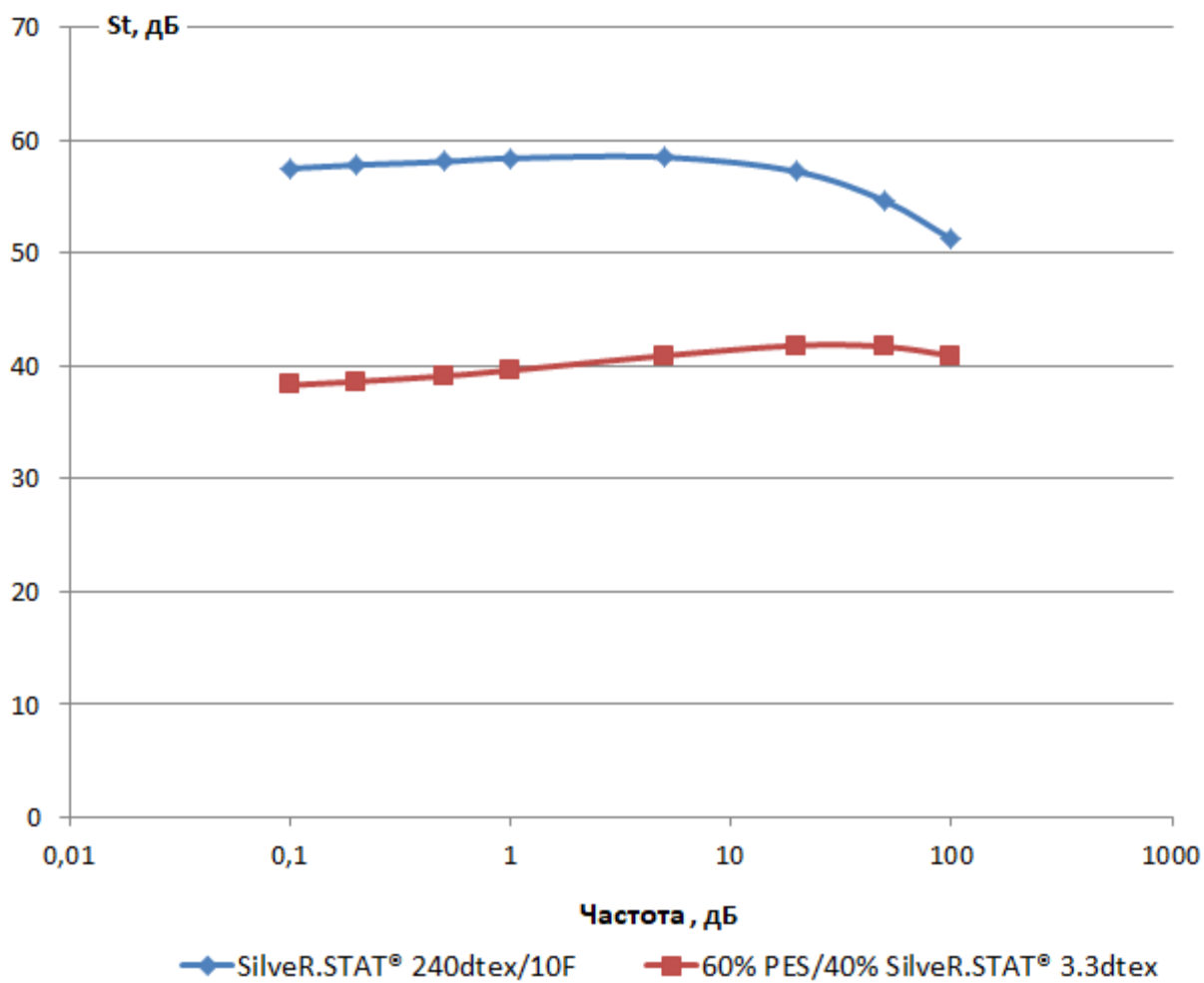


Рисунок 1 – Графіки залежності коефіцієнтів ефективності екранування радіонепроникних тканин від частоти електромагнітного випромінювання

## ДОДАТОК В. Перелік файлів на електронному носії

1. Титульний лист.docx
2. Завдання.docx
3. Реферат.docx
4. Перелік умовних скорочень.docx
5. Пояснювальна записка.docx
6. Презентація.pptx

ДОДАТОК Г. Відгук керівника економічного розділу

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Керівник:

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Д.П. Пілова

## ДОДАТОК Д. Відгук керівника дипломної роботи

## В І Д Г У К

на дипломну роботу студента групи 125м-17-2 Васильєва Д.Г.

на тему: «Ефективність застосування гнучких матеріалів для екранування побічних електромагнітних випромінювань технічних засобів обробки інформації»

Пояснювальна записка складається з титульного аркуша, завдання, реферату, списку умовних скорочень, змісту, вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань та додатків, розташованих на 94 сторінках та містить 20 рисунків, 23 таблиці, 47 джерел та 5 додатків.

Актуальність теми обумовлена тим, що функціонування будь-якого сучасного технічного засобу обробки інформації породжує побічні електромагнітні випромінювання, які можуть створити технічний канал витоку інформації. Ефективним засобом для локалізації таких випромінювань є екранування.

В дипломній роботі достатньо повно проаналізовано фізичні принципи екранування побічних електромагнітних випромінювань, проведено порівняльний аналіз зразків гнучких екрануючих матеріалів, розраховано коефіцієнти екранування радіонепроникних тканин та сітчастих екранів, запропоновано рекомендації щодо підвищення ефективності екранування сітчастими екранами.

Автор показав достатній рівень теоретичних знань з обраної теми, вміння застосовувати сучасні методи та засоби проведення досліджень, здатність формувати власну точку зору та рекомендації на підставі аналізу результатів проведених розрахунків.

Робота виконана з високим ступенем самостійності. В результаті проведеного аналізу виникнення побічних електромагнітних випромінювань, способів захисту інформації від витоку каналами ПЕМВ, принципів екранування ПЕМВ, аналізу сучасних гнучких екрануючих матеріалів та порівняльної оцінки екрануючих характеристик зразків сітчастих екранів. Створено рекомендації щодо підвищення ефективності екранування побічного електромагнітного випромінювання сітчастими екранами.

Практичне значення полягає у можливості використання запропонованих рекомендацій щодо підвищення ефективності екранування гнучкими матеріалами.

Якість оформлення матеріалів дипломної роботи не викликає зауважень.

Автор глибоко вивчив стан проблеми, показав достатній рівень знань, необхідний для проведення теоретичних та практичних досліджень.

В цілому дипломна робота виконана на достатньо високому рівні, може бути рекомендована до захисту і заслуговує оцінки «відмінно», а її автор – присвоєння кваліфікації професіонала із організації інформаційної безпеки.

Керівник роботи,  
д.ф-м.н., професор

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Т.С. Кагадій

Керівник спеціальної  
частини, ст. викладач

\_\_\_\_\_  
(підпис)

С.І. Войцех